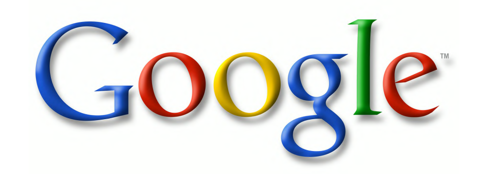
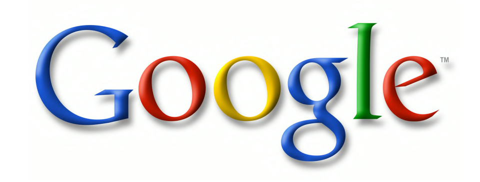
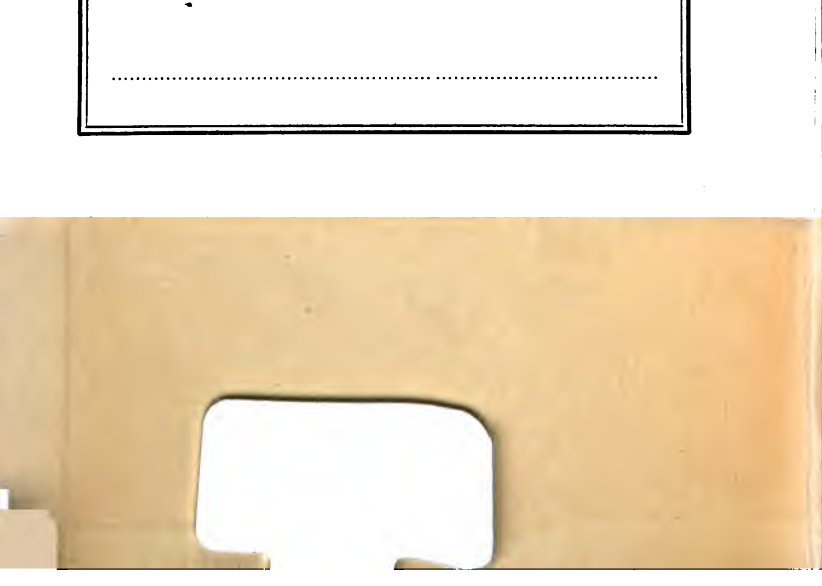
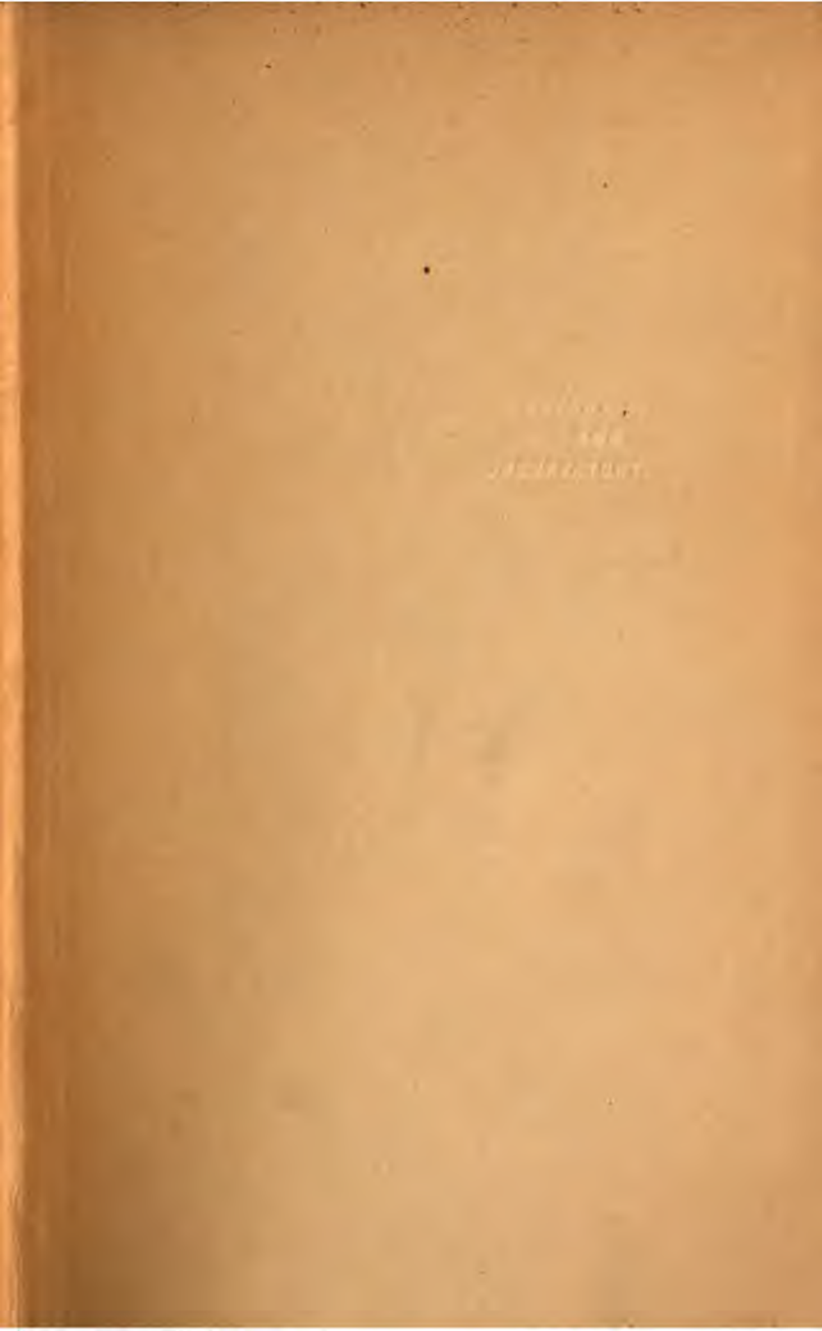










AUTRES MONDES



LES MONTAGNES DE LA LUNE
d'après une photographie
de MM. Henry, astronomes à l'Observatoire de Paris.

ESQUISSES ASTRONOMIQUES

AUTRES MONDES

PAR

Amédée GUILLEMIN
Auteur du *Ciel*,
du *Monde physique*, etc.



PARIS
GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR
58, RUE SAINT-ANDRÉ-DES-ARTS

1892

AUTRES MONDES

I

L'INFINI DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE.

§ 1. — L'infinité de l'étendue. — L'univers infini.

L'INFINI !

Quand nous prononçons ce mot, nous rendons-nous compte de sa signification véritable, de sa vraie portée ? L'idée redoutable qu'il recouvre prend-elle bien dans notre esprit toute sa valeur ?

Combien parmi nous, — les philosophes exceptés, et encore, — considèrent l'infini comme un synonyme de *très grand*, *d'immensément grand*, de quelque chose qui, en

nombre, en étendue, en durée, en puissance, dépasse tout ce qui se peut imaginer. Sans doute, notre esprit, dans sa débilité, croit volontiers que, pour faire concevoir l'infini, cet inconcevable, il suffit d'entasser nombre sur nombre, jusqu'au point d'effrayer la pensée par l'immensité du résultat vis-à-vis de toute grandeur qui nous sert de mesure. En procédant ainsi, en effet, nous arrivons bientôt à une accumulation de chiffres que l'imagination a de la peine à se représenter sous la forme d'une réalité tangible.

C'est ainsi notamment que l'on donne — j'ai usé moi-même bien des fois de ce moyen d'expression — pour une image de l'infini la prodigieuse distance où la Terre se trouve des étoiles, ou celle encore bien plus grande des limites de la Voie Lactée, ou enfin le temps que met la lumière à nous parvenir des dernières nébuleuses visibles, lueurs incertaines plongées bien au delà des étoiles dans les profondeurs de ce gouffre éthéré, le ciel. On prend pour unité par exemple le rayon moyen de l'orbite de la Terre, autrement dit la ligne droite qui joint le centre

de notre planète au centre du Soleil; on calcule que cette unité est déjà si grande vis-à-vis de nos distances terrestres, qu'un projectile d'une pièce d'artillerie animé de la vitesse qu'il possède au sortir de l'arme, mettrait des années à en parcourir toute la longueur; on s'assure que les étoiles les plus voisines, sont à des distances de nous deux cent mille fois au moins aussi grandes, que les dernières étoiles visibles à l'œil nu sont beaucoup plus éloignées encore, et que s'il s'agit des amas stellaires, des nébuleuses, c'est par millions, par milliards que doivent s'exprimer leurs distances. Laissant donc de côté cette unité trop petite, qui s'évanouit devant de telles grandeurs, les astronomes ont pris une échelle de mesure en proportion avec les espaces à mesurer : la lumière, dans le vide, franchissant 300000 kilomètres à la seconde, parcourt en une année une distance d'environ 9 500 milliards de kilomètres. Prenant pour unité cette effroyable longueur, ils sont arrivés à reconnaître que la lumière des étoiles les plus voisines met des années à nous parvenir, que celle des dernières

étoiles visibles à l'œil nu ne met pas moins d'un siècle et demi, que la distance enfin de telle nébuleuse télescopique se mesure par 10,000 ans de trajet des ondes lumineuses.

N'est-ce pas là, se dira-t-on, un résultat du calcul bien propre à donner quelque idée de l'infini de l'étendue? Un espace tel, qu'un courrier aussi étonnamment rapide que la lumière, parti de la nébuleuse bien avant les premiers temps historiques, serait encore en route aujourd'hui et ne nous arriverait que dans quelques milliers d'années. Qui de nous ne s'écrierait, l'imagination écrasée, anéantie devant de tels nombres : c'est bien là l'infini.

Eh bien, non. Tout cela n'est rien encore. La sphère décrite avec un tel rayon, à l'intérieur de laquelle nos yeux et nos télescopes voient étinceler les feux de tant de millions de soleils, n'est plus elle-même qu'un point insaisissable devant l'infini véritable ; il faut en revenir au mot de Pascal :

« Tout ce monde visible n'est qu'un trait imperceptible dans l'ample sein de la nature. Nulle idée n'en approche. Nous avons beau

enfler nos conceptions au delà des espaces imaginables : nous n'enfantons que des atomes au prix de la réalité des choses (1) ».

Depuis que l'immortel auteur des *Pensées* écrivait ces lignes, le monde visible s'est considérablement agrandi. Le télescope perfectionné a prouvé l'existence d'une multitude d'astres, d'étoiles, amas d'étoiles, nébuleuses, inconnus au temps de Pascal ; il a *enflé*, non seulement notre conception de l'univers, mais aussi en réalité ses dimensions vraies. L'étendue peuplée de mondes s'est multipliée des millions de fois, sans cesser pour cela d'être un atome devant la réalité infinie ; la magnifique définition de l'auteur des *Pensées* reste aussi profondément vraie qu'auparavant : l'Univers « est une sphère infinie dont le centre est partout, la circonférence nulle part ».

§ 2. — L'infinité de la durée.

Ce que nous venons de dire de l'infini de l'étendue, de l'espace infini, s'applique avec

(1) *Pensées*.

évidence à l'infini de la durée. Quelque loin que l'imagination recule dans le passé ou s'avance dans l'avenir, l'intervalle que nous embrasserions ainsi en pensée, fût-il composé de milliards de milliards de siècles, que serait-il, sinon un point, une seconde de l'éternité passée ou de l'éternité future. Nous sommes également impuissants à concevoir une limite au temps ou à l'espace. Dans la durée, comme dans l'étendue, l'infini nous enveloppe de toutes parts.

Ce ne sont là, dira-t-on, que des conceptions nécessaires de l'esprit, mais dont la réalité ne peut nous être démontrée. L'Univers a-t-il eu un commencement ? N'est-il pas limité dans l'espace ? Sans doute, le télescope, entre les mains d'un observateur comme William Herschel, comme lord Rosse ou tel autre astronome contemporain, a pénétré de plus en plus profondément dans les abîmes du ciel ; jamais la matière céleste ne lui a manqué ; au contraire, en sondant les gouffres éthérés, la population des astres, étoiles ou nébuleuses, s'est trouvée de plus en plus abondante ainsi que cela doit être

si réellement l'Univers est sans bornes.

Si la science se proposait la recherche de l'*absolu*, ces progrès de l'astronomie sidérale, ces conquêtes de l'observation s'accumuleraient en vain et seraient comme nulles ou non avenues; elles prouveraient seulement que les limites de l'Univers, s'il en a, ne sont point encore atteintes. D'une manière absolue, si ces limites existaient, répétons-le, le monde, si immensément grand qu'il nous paraît, ne serait toujours qu'un atome en présence de l'infini.

La science n'a pas d'ambition pareille. L'absolu lui échappe, ou plutôt elle n'a aucune prétention de le saisir; ni l'essence des choses, ni leur cause première, ni l'origine ou la fin du monde ne sont de son domaine. Il lui suffit d'avancer toujours, et elle est satisfaite quand elle a reculé les bornes du savoir. Pascal, en évoquant l'image de ces deux infinis, l'infiniment grand et l'infiniment petit, dont l'esprit humain se reconnaît impuissant à pénétrer le mystère, se sentait accablé sous le poids d'une telle pensée bien propre à mettre en évidence la

misère de l'homme. Il réagit aussitôt toutefois contre cette conclusion désespérante en s'écriant : « Quand l'univers l'écraserait, l'homme serait encore plus noble que ce qui le tue, parce qu'il sait qu'il meurt, et l'avantage que l'univers a sur lui, l'univers n'en sait rien. » Le *roseau pensant* que nous sommes n'est plus aujourd'hui comme il y a deux siècles, en présence de la nature, sous l'empire de la terreur superstitieuse qui s'était emparée de ce profond génie. Les mille découvertes de la science nous ont rassurés. Nous plongeons avec confiance et sérénité notre regard dans les profondeurs du ciel ; en y voyant étinceler des myriades de mondes, nous y voyons, partout répandus, avec le mouvement, avec les ondulations de la chaleur et de la lumière, les principes de la vie et aussi de la mort, car l'une est la condition de l'autre, et toutes deux sont les phases inéluctables de l'existence universelle. Comment l'homme se plaindrait-il de la part qui lui est faite ; il en jouit et se console de n'être qu'un atome dans l'Univers, à la pensée que cet atome, par la

seule puissance de l'esprit qui l'anime, s'est élevé peu à peu à la contemplation des phénomènes et à la connaissance de leurs lois.

§ 3. — Impossibilité de concevoir des bornes à l'univers sidéral.

Revenons encore à la notion de l'infini, telle que nous la présente inévitablement la contemplation des espaces célestes. Un charme étrange s'attache à cette contemplation, qui nous fait voir, dans l'univers sidéral, avec ses soleils innombrables, ses archipels d'amas stellaires et de nébuleuses, l'image concrète la plus claire que notre pensée puisse se figurer de l'infini. Sans doute, de tels abîmes, fourmillant de soleils et des astres invisibles dont nous les entourons par analogie, écrasent non pas seulement nos petites personnes, mais notre atome de planète du poids de leur immensité. Mais notre imagination se redresse, elle va plus loin encore, plus loin toujours.

Quand l'invention de la lunette astronomique eut fait entrevoir à Galilée un ciel

agrandi, quand la lueur indécise de la Voie Lactée se résolut pour lui en milliers d'étoiles, quand plus tard, les progrès de l'optique appliqués au télescope eurent accru peu à peu la puissance de cet œil artificiel, la vue de l'homme pénétrant dans l'espace à des profondeurs croissantes, on en conclut bien d'abord que les limites de l'univers se trouvaient considérablement reculées, mais sans que l'on cessât de croire à la possibilité de les atteindre. A quels symptômes devait-on reconnaître que le télescope avait pénétré jusqu'aux bornes du monde sidéral? A ce fait qu'à un nouvel accroissement de son pouvoir optique, ne correspondait plus une augmentation dans le nombre des étoiles ou de leurs amas. Or, l'événement prouva précisément le contraire, en révélant l'existence d'un nombre progressivement croissant de ces astres. C'est ce que W. Herschel constatait avec une admiration mêlée de stupeur, quand il arrivait à cette conclusion qu'avec son grand télescope de 40 pieds de foyer il n'arrivait pas à résoudre en étoiles certaines régions de la Voie Lactée, non point, ajoutait l'illustre



CASSIOPÉE.

Fragment de la constellation, d'après une photographie de MM. Henry, astronomes à l'Observatoire de Paris.

astronome, que la nature en soit douteuse, mais parce que *la Voie Lactée est insondable*.

Depuis l'époque où Herschel reconnaissait l'impossibilité d'atteindre les bornes de la Voie Lactée, à fortiori celles de ces autres Voies Lactées dont l'existence se révèle sous la forme de pâles lueurs seulement visibles dans les instruments les plus puissants, toutes les observations sont venues confirmer les astronomes dans cette idée, que toute recherche des limites de l'univers est vaine, le nombre des astres visibles croissant sans cesse en proportion géométrique, quand la pénétration des télescopes ou leur pouvoir optique augmente en simple proportion arithmétique.

Alors, invinciblement, une idée envahit notre intelligence, à savoir qu'une telle progression est en réalité indéfinie, qu'à chaque progrès réalisé dans nos moyens d'observation, les astronomes de l'avenir découvriront, par delà les cieux connus, de nouveaux cieux peuplés comme celui qui étincelle sur nos têtes, de soleils, de groupes de soleils, de nébuleuses. Il arrivera sans doute un moment

où nous aurons épuisé les ressources optiques que la nature a mises à la disposition des physiciens à ce point de vue, ne fût-ce que par le fait de l'impuissance de notre rétine à être impressionnée par des ondulations lumineuses de plus en plus affaiblies. Mais alors, ne voit-on pas qu'il nous sera impossible de ne pas croire que la limitation vient de cette impuissance même, non de ce qu'elle correspond réellement aux limites de l'Univers?

Si nous ne parvenons pas à concevoir l'espace comme un tout limité, pareillement notre esprit se refuse à admettre que l'étendue infinie ne comprenne qu'un univers fini ; si effroyablement grandes que soient les dimensions de cet univers, il ne serait plus, selon la forte expression de Pascal, qu'un atome au prix de la réalité, qu'un point perdu au milieu du gouffre d'un vide sans bornes.

Ainsi l'infiniment grand nous obsède, et si nous ne pouvons le concevoir, c'est-à-dire l'embrasser, il nous est bien plus impossible encore d'imaginer des limites au delà desquelles il n'y aurait que le néant.

§ 4. — Impossibilité de concevoir des bornes au temps.

L'idée du temps indéfini, de l'éternité passée comme de l'éternité future, s'impose à notre esprit comme celle de l'étendue infinie, accablant plus encore notre pensée.

Cette chose indéfinissable le *temps*, dont on a coutume de dire que c'est « *l'étoffe dont notre vie est faite* », qui, s'écoulant avec une absolue continuité, s'évanouit en naissant, n'étant déjà plus ou n'étant pas encore, et dont l'existence présente est un imperceptible point dans la durée, enveloppe nécessairement tout phénomène, si bien que c'est seulement par les modifications de ces derniers, par les mouvements des objets extérieurs ou par ceux que nous effectuons nous-mêmes, que nous pouvons l'apprécier et le mesurer.

Mais en considérant la durée en elle-même, notre esprit se refuse à supposer qu'elle ait pu avoir un commencement, de même qu'il lui est impossible d'admettre

qu'elle puisse avoir une fin. Nous avons beau imaginer l'anéantissement de l'univers, nous ne pouvons nous empêcher de concevoir, la ruine consommée, que deux choses au moins lui survivent, l'espace et le temps, deux abstractions il est vrai dans cette hypothèse, mais qui toutes deux nous servent à donner un corps à la notion de l'infini.

C'est à la durée de notre propre existence, elle-même mesurée par les mouvements de la planète où nous vivons, que nous comparons toutes les durées. Mais là, notre mémoire est si courte, que nous pouvons à peine remonter dans le passé à quelques milliers d'années. La science a été plus loin, et c'est par centaines de mille, par millions d'années qu'elle compte le temps dans la succession des périodes géologiques. Si les planètes, et la Terre avec elles, sont les filles du Soleil, l'âge du père commun est naturellement de beaucoup plus grand, et c'est bien probablement par centaines de millions d'années qu'il faudrait compter, si l'on voulait remonter jusqu'à l'origine de la condensation de la nébuleuse solaire.

Mais qu'est cela dans l'histoire de l'Univers? que sont les millions, les milliards de siècles devant l'éternité passée? Un point imperceptible, une seconde dans le gouffre des siècles écoulés, j'allais dire depuis l'origine des choses, de même que l'univers visible n'est qu'un atome devant l'infini de l'espace.

§ 5. — L'infiniment petit.

« Qu'est-ce qu'un homme dans l'infini? Mais pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates. Qu'un ciron lui offre dans la petitesse de son corps des parties incomparablement plus petites, des jambes avec des jointures, des veines dans ces jambes, du sang dans ces veines, des humeurs dans ce sang, des gouttes dans ces humeurs, des vapeurs dans ces gouttes; que, divisant encore ces dernières choses, il épuise ses forces en ces conceptions et que le dernier objet où il peut arriver soit maintenant celui de notre discours, il pensera peut-être

que c'est là l'extrême petitesse de la nature. Je veux lui faire voir là-dedans un abîme nouveau. Je lui veux peindre non seulement l'univers visible, mais l'immensité qu'on peut concevoir de la nature, dans l'enceinte de ce raccourci d'atome. Qu'il y voie une infinité d'univers, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en la même proportion que le monde visible ; dans cette terre, des animaux, et enfin des cirons, dans lesquels il retrouvera ce que les premiers ont donné, et trouvant encore dans les autres la même chose, sans fin et sans repos, qu'il se perde dans ces merveilles, aussi étonnantes dans leur petitesse que les autres par leur étendue, car qui n'admirera que notre corps, qui tantôt n'était pas perceptible dans l'univers, imperceptible lui-même dans le sein du tout, soit à présent un colosse, un monde, ou plutôt un tout, à l'égard du néant où l'on ne peut arriver ».

« Qui se considérera de la sorte s'effrayera de soi-même, et se considérant soutenu dans la masse que la nature lui a donnée, entre ces deux abîmes de l'infini et du néant,

il tremblera dans la vue de ces merveilles; et je crois que sa curiosité se changeant en admiration, il sera plus disposé à les contempler en silence qu'à les rechercher avec présomption.

« Car enfin qu'est-ce que l'homme dans la nature! Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant : un milieu entre rien et tout. Infiniment éloigné de comprendre les extrêmes, la fin des choses et leur principe sont pour lui invinciblement cachés dans leur secret impénétrable; également incapable de voir le néant d'où il est tiré, et l'infini où il est englouti (1). »

L'auteur des *Pensées*, dans ce morceau d'éloquence, donne une saisissante image de l'infiniment petit : comme pour l'infiniment grand, c'est par la répétition sans fin d'un même phénomène, ici seulement sur une échelle décroissante. Sans doute, si Pascal avait à l'écrire aujourd'hui, il choisirait d'autres exemples, des termes de comparaison plus en rapport avec les connaissances

(1) *Pensées*, I.

micrographiques, qui ont fait, depuis le XVIIe siècle, de si étonnants progrès. Le rôle joué par le microscope, dans cet ordre de recherches, est bien le même en effet que celui du télescope, l'un et l'autre ayant reculé les bornes des objets visibles et étendu de la sorte les conquêtes de la science sur la Nature. Seulement, dans les profondeurs de l'univers sidéral, l'observateur voyait apparaître des millions d'astres ou de groupes d'astres en tout semblables à ceux que la vue simple lui avait offert tout d'abord. A mesure que se révélait un champ nouveau, par le fait d'un accroissement de pouvoir optique, les astronomes constataient qu'il était peuplé comme les portions antérieurement connues de l'univers; seul, leur nombre allait se multipliant en raison de l'étendue occupée. De là, une analogie légitime entre l'univers invisible et l'espace sans bornes qui s'étend nécessairement au delà. Ainsi, nous nous sommes sentis envahis invinciblement par l'idée de l'univers infini.

Dans le domaine de l'infiniment petit, il

semble que les choses se disposent tout autrement. Si, du ciron de Pascal, on passe aux parties les plus ténues dont ce géant se compose, puis aux nouveaux espaces qui existent entre ces parties, c'est tout un nouvel univers que l'imagination de Pascal découvre « dans ce raccourci d'atome », un firmament, des planètes, la terre peuplée d'animaux comme celle que nous foulons aux pieds, et ainsi de suite indéfiniment. Le génie du mathématicien, admettant sans difficulté la divisibilité à l'infini de la matière, se meut à l'aise dans l'espace qu'il assigne à ces nouveaux mondes. L'observation microscopique n'a point justifié ces hypothèses comme l'a fait le télescope dans les régions sidérales, où des mondes sans fin succèdent sans interruption les uns aux autres dans le gouffre de l'espace infini. Ce que le microscope a révélé à la patience des savants qui l'ont interrogé ce sont d'autres mystères, non moins étranges, mais permettant peut-être d'arriver à d'autres conclusions. Les organismes de plus en plus petits, que les micrographes ont découvert depuis Lœwen-

hoeck et qu'ils découvrent tous les jours, depuis les infusoires jusqu'aux bacilles à peine perceptibles aux plus forts grossissements, deviennent de plus en plus simples à mesure que diminuent leurs dimensions ; à la fin, ce sont des filaments, des bâtonnets, des corpuscules où la vie n'est décelée que par le mouvement.

Sans doute, arrivé là, on est loin encore d'atteindre la molécule, l'atome dont l'existence n'est démontrée que par la logique, par la nécessité de rendre compte des phénomènes chimiques ou moléculaires. Néanmoins il n'est pas déraisonnable de penser qu'on approche ainsi de plus en plus d'une limite de petitesse, tandis que dans les espaces célestes, les mondes s'ajoutent aux mondes sans que cette multiplication suggère la pensée de bornes réelles limitant l'univers. Sans doute encore, en raisonnant en mathématicien géomètre, on ne peut assigner aucune limite à la divisibilité de l'étendue ; mais rien ne prouve qu'à cette divisibilité abstraite en corresponde une réelle dans l'ordre des phénomènes.

Disons toulefois, pour conclure avec l'auteur des *Pensées*, que l'infiniment petil recèle des mystères que la science ne percera peut-être jamais et dont l'idée seule suffit à confondre notre raison.

II

SIRIUS.

§ 1. — Distance de Sirius au système solaire.

Lorsqu'un train rapide nous fait franchir en quelques heures toute notre France, du Havre à Marseille; quand un grand steamer transatlantique file, à raison de 18 à 20 nœuds, sur la surface mouvementée de l'Océan, nous sommes tout émerveillés de la vitesse de nos véhicules et nous croyons voler avec eux dans l'espace. En réalité, nous rampons misérablement.

Pour nous en convaincre, nous n'avons qu'à comparer notre allure qui, dans les instants les plus favorables, nous entraîne à raison de 100 à 120 kilomètres au plus par

heure — une bagatelle de 30 mètres à peine par seconde — avec la vitesse du mouvement de notre planète sur son orbite. En une seconde, ce navire qui défie tous les orages, s'avance sur sa route, d'environ 30 kilomètres. Sa vitesse égale donc mille fois la vitesse des grands paquebots ou des locomotives les plus rapides. Il est vrai que le voyage de la Terre autour du Soleil se fait sans heurt et sans secousse, sans bruit, en sorte que, passagers sur ce navire céleste qui ne s'arrête jamais, nous n'avons aucunement conscience de notre déplacement.

Au bout d'une année, après avoir parcouru quelque chose comme près d'un milliard de kilomètres, nous revenons au point de départ, ayant accompli une sorte de voyage autour du monde, du monde solaire ou tout au moins du Soleil. Qu'au lieu de circuler ainsi, nous supposions le même chemin fait en ligne droite et à l'opposé du Soleil, il nous mènerait jusqu'à Jupiter et même un peu au delà; mais pour arriver aux confins du monde planétaire lui-même, c'est-à-dire jusqu'à Neptune, cinq voyages au moins de

la même durée d'un an seraient nécessaires à notre planète.

Nous pouvons nous faire ainsi une idée, en premier lieu de la rapidité du mouvement des corps célestes de notre monde, et en outre des dimensions de ce dernier. Celles-ci sont telles, qu'un projectile animé de la vitesse moyenne de la Terre sur son orbite mettrait environ dix années à le traverser de part en part.

Combien faudrait-il de temps au même projectile pour parvenir jusqu'aux étoiles; pour fixer les idées, à quelle époque arriverait-il à Sirius? Avant de répondre à cette question, faisons connaissance avec cette splendide étoile, la plus éclatante de tout le firmament.

Dans les nuits voisines du solstice d'hiver, la brillante constellation d'Orion passe au méridien vers minuit. On voit alors tout près de la Voie Lactée, dont la ceinture vaporeuse s'élève obliquement de l'horizon comme une écharpe céleste, les quatre étoiles du quadrilatère briller devant soi, accompagnées d'un cortège d'autres étoiles appartenant

à diverses constellations. Si l'on tire par la pensée, du sud-est au nord-ouest en passant par les trois étoiles du Baudrier, une diagonale prolongée de part et d'autre d'Orion, on rencontre, dans le haut à droite, une étoile de première grandeur, d'une couleur jaune rougeâtre : c'est Aldébaran, ou l'œil du Taureau. En bas et à gauche étincellent les feux d'une magnifique étoile blanche, dans la constellation du Grand Chien : c'est Sirius.

Là est le point que nous voulons atteindre, le but du voyage intersidéral qu'il s'agit de faire, en prenant pour véhicule un projectile animé de la même vitesse que notre planète. Nous partirons, je suppose, le premier jour de janvier 1892; à quelle époque arriverons-nous dans Sirius? Pour résoudre cette question, par un calcul arithmétique de la plus grande simplicité, que nous faut-il? Connaître la distance qui sépare notre Terre, ou ce qui revient au même notre système, de Sirius; en langage astronomique connaître la *parallaxe* de cette étoile (1). Cette

(1) Je vais essayer de donner une idée de ce qu'on entend par parallaxe à ceux de mes lecteurs que ce

parallaxe est une fraction de seconde d'arc (0″37); elle mesure le déplacement apparent que subit Sirius, quand la Terre franchit dans le ciel une distance égale au rayon de son orbite, soit 148 millions de kilomètres. Une

mot effaroucherait. Nous contemplons les étoiles d'un observatoire mobile, puisque la Terre dans sa circulation autour du Soleil se trouve, à six mois d'intervalle, en deux points distants de la longueur du diamètre de son orbite, 296 millions de kilomètres environ. Ce déplacement réel correspond à des déplacements apparents des étoiles, qui doivent être d'autant plus grands que les étoiles observées sont plus rapprochées de la Terre. Ce sont ces déplacements qu'on nomme *mouvements parallactiques* et la *parallaxe annuelle* s'entend de l'angle sous lequel un observateur posté dans l'étoile verrait de face le rayon de l'orbite terrestre.

Quand nous voyageons en chemin de fer sur une vaste plaine, nous voyons les arbres dispersés à sa surface, se mouvoir dans un sens inverse de celui où le train nous entraîne, d'autant plus vite qu'ils sont plus près de nous. Les plus éloignés, à l'horizon, sont comparativement immobiles. Ces mouvements apparents, dépendant de la vitesse de notre déplacement réel sont des mouvements de *parallaxe.*

Or, la plus grande partie des étoiles sont si loin de la Terre que leur parallaxe est insensible. Un petit nombre d'étoiles ont donné des résultats, grâce à l'extrême précision des instruments de mesure et à l'habileté non moins grande des astronomes qui ont procédé à ces recherches délicates.

ligne de cette longueur qui est pour nous si énorme, et qu'un boulet de canon mettrait plus de dix ans à parcourir, vue de Sirius, serait comme un point qu'un fil d'un millimètre reculé à 560 mètres de l'œil suffirait à recouvrir.

On peut traduire tout cela en mesures ordinaires et alors on trouve pour Sirius une distance de quatre-vingt mille milliards de kilomètres, 570 000 fois aussi grande que celle où nous sommes nous-mêmes du Soleil. A raison de 30 kilomètres par seconde, parcourus uniformément en ligne droite, il s'écoulerait 86 300 années, 863 siècles avant que la Terre, notre courrier supposé, eût terminé son voyage. Elle arriverait à destination vers l'an 88 192 de notre ère ! Aussi les astronomes, qui aiment avec raison simplifier les choses, ont adopté pour unité propre à mesurer et comparer de tels abîmes de distance, le chemin que la lumière franchit en une année dans le vide des espaces célestes. On sait que les ondes lumineuses se propagent avec une vitesse *dix mille* fois aussi grande que celle de notre planète sur son or-

bite : elles parcourent, en un mot, 300 000 kilomètres environ en une seconde de temps.

A ce compte, un rayon lumineux émané de Sirius ne parvient à la Terre qu'au bout de 8 ans 6 dixièmes.

Et cependant Sirius n'est pas la plus éloignée des étoiles de la première grandeur. Arcturus, la Chèvre, sont la première à 25 ans 1/2, la seconde à 15 ans 1/2 de nous, en prenant le même étalon du chemin fait par la lumière. Une étoile du même ordre, appartenant au Ciel austral, Alpha du Centaure est, il est vrai, notablement plus rapprochée ; 4 ans 1/2 marquent sa distance. De Véga, la brillante de la Lyre, il faut déjà 21 années, et de la Polaire, plus de 46 ans (1).

Il est à remarquer que toutes ces étoiles et les millions d'autres que la vue simple permet de découvrir dans le ciel, font partie avec notre Soleil, d'un même amas stellaire, lequel n'est lui-même qu'une des innombra-

(1) Tous les nombres que nous venons de donner sont tirés du tableau que M. Lœwy a rédigé pour l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, et où se trouvent indiquées les principales parallaxes stellaires.

bles associations d'étoiles dont l'ensemble forme la Voie Lactée. Si donc, dans un même amas, les étoiles voisines sont séparées les unes des autres par des distances si énormes, quelles sont les dimensions de l'amas lui-même, quelles sont les distances des amas entre eux, quelles sont enfin celles qui existent entre les étoiles situées aux extrémités d'un même diamètre de la Voie Lactée ? L'esprit se perd à sonder de tels gouffres ; l'imagination la plus puissante se sent comme anéantie devant ces effrayantes perspectives d'un espace sans fin, peuplé de soleils sans nombre !

Mais revenons à Sirius.

§ 2. — Le Monde de Sirius.

Parmi toutes les étoiles qui brillent au ciel, dans l'un comme dans l'autre hémisphère, Sirius est la plus éclatante. Lorsqu'elle passe au méridien, par une nuit bien sereine, sa lumière éblouissante, d'un blanc légèrement bleuâtre, frappe tous les regards, et dépasse de beaucoup en éclat les autres étoiles de

première grandeur qui se voient dans son voisinage, Procyon, Bételgeuse et Rigel, Aldébaran. On a calculé que notre Soleil reculé dans l'espace à la distance d'Alpha du Centaure, la plus voisine de nous de toutes les étoiles, atteindrait tout au plus l'éclat des étoiles de seconde grandeur. Il est donc certain que les lumières stellaires émanent de sources incandescentes, et que, comme le Soleil est une étoile, chaque étoile est elle même un Soleil.

Sirius est deux fois au moins plus éloigné qu'Alpha du Centaure, et son éclat, sa grandeur apparente est beaucoup plus considérable. On en doit conclure, ou que son volume est beaucoup plus grand, ou que sa lumière est infiniment plus intense, ou encore que ces deux causes réunies concourent à ce même résultat dans une proportion inconnue. Il est bien difficile de dire laquelle de ces deux hypothèses est la vraie : on a bien tenté de résoudre cette question délicate ; mais la science, sur ce point, n'est encore parvenue qu'à de vagues conjectures. Voici quelques données recueillies à ce sujet.

La difficulté était de déterminer les dimensions de Sirius, de mesurer son diamètre apparent, d'où l'on pût conclure son diamètre réel.

Avant l'invention des lunettes, Tycho, Képler évaluaient le diamètre apparent ou angulaire de Sirius à 3 ou 4 minutes d'arc, quelque chose comme le huitième ou le dixième de ceux de la Lune et du Soleil. Au foyer des instruments d'optique, les images des étoiles, dépouillées des faux rayons divergents qui les font paraître beaucoup plus grandes, se montrent comme des points plus ou moins brillants, mais sans dimensions mesurables. Plus l'objectif est puissant et parfait, plus cette réduction est grande. En 1781, W. Herschel, au lieu de 10″, 6″, 5″ qu'avaient indiquées des astronomes comme Gassendi, Hévélius, Cassini, réduisait à 0″,2 le diamètre apparent d'une étoile de première grandeur, Arcturus. Des méthodes nouvelles assignent à peine à Sirius 16 millièmes de seconde d'arc. Traduisons en dimensions linéaires ce résultat, pour la distance où se trouve Sirius. Cela donnerait plus

de 6 millions de kilomètres pour le diamètre de son globe, ou 4 fois et demi le diamètre de notre Soleil. En volume, Sirius vaudrait donc quatre-vingt-trois fois le globe solaire.

Mais l'éclat de la splendide étoile n'est pas dû seulement à ses grandes dimensions ; c'est une conséquence immédiate de la nature physico-chimique de sa lumière. Sirius est du nombre des étoiles blanches dont le spectre est caractérisé par un petit nombre de lignes appartenant à l'hydrogène, au magnésium, au sodium. Ces lignes larges et estompées indiquent une forte absorption de la lumière photosphérique par une atmosphère enveloppante. Les étoiles appartenant à cette classe doivent avoir une température élevée et se trouvent sans doute dans cette phase de leur existence où leur radiation atteint son maximum d'intensité. Les étoiles jaunes, parmi lesquels notre Soleil, viennent ensuite, et les étoiles rouges sont probablement dans la période la moins vive de leur incandescence.

Mais à ce propos, Sirius se distingue par une singulière anomalie, s'il est vrai, comme

les auteurs anciens l'attestent, qu'il avait jadis une couleur rouge prononcée, tandis qu'aujourd'hui, il n'y a pas à s'y tromper, c'est une des étoiles les plus blanches du ciel. Quelle serait la cause d'une telle transformation? S'est-elle opérée subitement ou par degrés; est-ce l'indice d'une variabilité à très longue période, ou bien est-ce le fait d'une lente et naturelle évolution qui a peu à peu accentué l'incandescence de la photosphère jusqu'au point où sa lumière a fini par émettre des rayons de toute réfrangibilité? Les astronomes n'ont pu qu'enregistrer les anciens témoignages et les opposer à l'observation actuelle, sans que rien permette de résoudre la question.

L'analogie nous conduit invinciblement, nous l'avons dit, à supposer que les étoiles, foyers de radiations calorifiques et lumineuses sont accompagnées, comme l'est notre étoile solaire, d'astres secondaires qui circulent autour de chacun d'eux, sous l'empire de la force de gravitation. Si cette analogie ne nous trompe pas, et si le cortège de planètes, de

satellites et de comètes d'un soleil est en proportion de sa puissance, Sirius doit être à cet égard un des mieux partagés du ciel. Malheureusement, à de telles distances, des corps obscurs, ou du moins réfléchissant seulement une lumière empruntée, seraient invisibles dans les meilleurs instruments. Longtemps on a cru que Sirius, s'il possède des satellites, n'en a pas qui brillent de leur propre lumière.

Bessel, en étudiant les variations du mouvement propre de cette étoile, y reconnut des perturbations qui ne pouvaient, suivant lui, être attribuées qu'à l'existence d'un satellite de nature planétaire. Un autre astronome, Peters, calcula l'orbite de ce corps inconnu, et assigna à sa révolution autour de Sirius la période de cinquante années environ. C'était en 1851, c'est-à-dire cinq ans après la brillante découverte de Neptune faite par Le Verrier et Adams, par une méthode analogue à celle dont Bessel et Peters s'étaient inspirés pour trouver et calculer le nouveau satellite. Un succès tout semblable attendait la prédiction des savants astronomes. Onze ans en

effet après la publication des calculs de Peters un observateur américain, M. Clarke, en essayant sur Sirius le pouvoir optique d'une magnifique lunette de 47 centimètres d'ouverture, aperçut le compagnon de Sirius, qui a été depuis l'objet de nombreuses observations.

Voilà donc Sirius étoile double. Il paraît même qu'il aurait un second compagnon, mais celui-là satellite obscur, à moins qu'un trop faible éclat s'oppose à sa visibilité dans les lunettes, ou encore, à moins qu'une distance relativement faible à Sirius noie sa lumière dans les rayons de l'étoile principale. Par une anomalie singulière, ce serait le satellite invisible qui répondrait aux calculs de Peters et d'Auwers. Leurs périodes ne sont pas du reste fort différentes; l'une de 49 ans 1/2 est celle du satellite invisible; l'autre est plus longue de 9 ans, mais les distances moyennes à l'étoile principale sont dans la proportion du simple au quadruple (2″,3 à 8″,6).

Toutes ces données sur un monde que son éclat signale à l'attention de tous les curieux

de la science astronomique, quelque importantes qu'elles soient, semblent encore bien peu de chose en raison des inconnues dont il n'est guère possible d'entrevoir la solution. Mais qu'on se reporte à ce qu'on a dit plus haut de l'effrayante distance de Sirius, et l'on ne sera plus étonné. On admirera, au contraire, la puissance d'une théorie capable de révéler la présence d'astres ignorés jusque-là, par la seule discussion de variations imperceptibles des positions d'une étoile, et l'on ne sera pas moins disposé à payer un juste tribut d'hommages, à l'habileté, à la persévérance, à la perspicacité des observateurs, des artistes qui ont perfectionné les instruments et à la science profonde des géomètres qui ont édifié la théorie. Donnons encore un chiffre qui prouve ce que nous disons ici. Grâce à la connaissance de la distance de Sirius au Soleil et des éléments de l'orbite de son compagnon, on a pu donner la valeur approchée de la masse de Sirius, ou de la somme des masses réunies de Sirius et de son satellite : cette somme dépasse le triple de la masse de notre Soleil.

Ainsi les astronomes sont parvenus à peser non seulement les astres du système dont fait partie notre Terre, mais encore ceux qui brillent dans les régions lointaines de l'Univers sidéral. De tels calculs ne sont possibles, il est vrai, que dans l'hypothèse où la gravitation newtonienne est universelle. Rigoureusement parlant, la démonstration de cette universalité n'est pas achevée; mais ce qu'on sait des mouvements des systèmes d'étoiles doubles, les vérifications que l'observation a déjà recueillies donnent le plus haut degré de probabilité à la théorie qui englobe dans une même loi, tous les mouvements des corps célestes. Et ainsi se révèle sous la forme la plus grandiose l'unité de l'Univers. Les intelligences rompues à la discipline sévère des méthodes scientifiques, n'admettent rien au delà des résultats de l'observation et du calcul basé sur les observations mêmes. Elles se trouvent satisfaites quand on leur expose ces résultats dans leur simplicité, ou du moins, elles n'attendent de nouvelles conquêtes de la science que de l'emploi de ces méthodes.

Nous autres profanes, nous ne nous sen-

tons point arrêtés par les mêmes scrupules. Notre imagination, surexcitée par une curiosité bien naturelle, va plus loin que la science, et se met, sans que rien la gêne, à inventer des réponses aux mille questions encore irrésolues. C'est ainsi que nous nous figurons le monde de Sirius formé d'une multitude d'astres secondaires qui gravitent, soit autour de l'étoile principale, soit autour de ses compagnons. Ces planètes reçoivent à la fois les feux de Sirius et ceux de son satellite visible, et cette double radiation donne lieu, sur chacune d'elles, aux phénomènes les plus variés, aux combinaisons les plus singulières des jours et des nuits et des saisons. Si l'on y joint les effets de lumière qui peuvent provenir des satellites secondaires que nous supposons, par une nouvelle création de notre imagination, circuler en nombre plus ou moins grand autour de ces planètes, on se fera une idée des contrastes d'un tel monde avec le nôtre. Rien de tout cela n'est prouvé sans doute; mais rien non plus n'est invraisemblable.

Que de choses nous ignorons encore dans

cet ordre de recherches, et que peut-être nous ignorerons toujours! Chacun de ces points lumineux qui étincellent dans le ciel de nos nuits, porte avec lui ses mystères que la science s'efforce de pénétrer. Déjà elle a pu soulever un coin du voile : elle a reconnu que les étoiles sont autant de soleils ; elle a mesuré la distance de quelques-unes et assigné une limite minima à celle de toutes les autres; elle les a classées suivant l'ordre décroissant de leur grandeur apparente et en voyant croître indéfiniment leur nombre à mesure de la diminution de leur éclat, elle a pu calculer les limites probables des distances des étoiles de divers ordres. Les spéculations les plus hardies basées sur le calcul des probabilités ont permis aux astronomes d'aborder un problème qui semblait sinon impossible, du moins effrayant par ses obscurités, celui de la structure de l'Univers. Nous dirons un mot plus loin de la solution entrevue, dont peut-être il sera bientôt possible de vérifier l'exactitude, quand sera achevé le grand travail entrepris par les astronomes contemporains, je veux parler de la carte photographique du ciel.

Cette œuvre gigantesque est aujourd'hui commencée. Dans une première série d'environ 40 000 clichés, les étoiles photographiées jusqu'à la onzième grandeur formeront la matière d'un catalogue où la position de chacune d'elles en ascension droite et en déclinaison sera inscrite et servira de point de repère pour toute recherche ultérieure. On évalue à deux millions environ le nombre des étoiles ainsi repérées. Douze ou quinze mille autres clichés contiendront toutes les étoiles jusques et y compris la quatorzième grandeur. On aura ainsi la représentation la plus complète et la plus fidèle du ciel entier, ou du moins celle de vingt millions d'étoiles qu'il renferme jusqu'à cet ordre de grandeur.

Lorsque, dans un petit nombre d'années, ce double travail sera accompli, grâce à la parfaite entente et à la coopération de vingt observatoires, que les épreuves de ces innombrables clichés seront publiées et mises à la disposition de tous ceux qui voudront concourir à l'élaboration des mille questions que peut suggérer l'étude du ciel étoilé, il sera possible de répondre d'une manière

positive à nombre de ces questions aujourd'hui insolubles. Il en est sans doute qui exigeront du temps, un temps très long, des siècles peut-être, puisque ce n'est souvent qu'après de tels intervalles que les changements peuvent devenir sensibles dans les groupes stellaires. Alors une simple comparaison faite à loisir, à l'aide du microscope, entre les photographies d'aujourd'hui et les photographies des astronomes futurs, révélera la loi de ces variations.

Jusqu'ici c'est au prix de laborieuses et pénibles observations, de recherches persévérantes prolongées pendant des années, que les savants qui se sont voués à l'étude de l'astronomie ont pu parvenir à résoudre quelques-uns de ces problèmes; des instruments coûteux leur étaient nécessaires pour rassembler les matériaux de leurs spéculations, et l'on sait néanmoins combien, par ces méthodes difficiles, ils ont pu faire progresser la science. On peut donc hardiment prédire que l'emploi des nouvelles méthodes accélérera ces progrès dans une mesure impossible à prévoir.

III

L'AMAS D'HERCULE

---

§ 1. — La constellation d'Hercule.

Dans les belles nuits du solstice d'été de notre hémisphère boréal, un peu avant minuit, passe au méridien et au zénith, une constellation qui n'offre au regard que des étoiles d'un assez faible éclat : c'est la constellation d'Hercule. Elle est plus aisée à reconnaître, si on la rapporte aux constellations voisines : un peu au couchant d'Hercule, brille en effet la Couronne boréale, que sa forme circulaire et son joyau, la Perle, belle étoile de seconde grandeur, suffisent à distinguer des étoiles d'alentour. A l'orient, de part et d'autre de la Voie

Lactée qui étend obliquement ses deux branches vaporeuses, Véga de la Lyre, Altaïr de l'Aigle lancent leurs feux scintillants, et au-dessous, presque à l'horizon, la lumière rougeâtre d'Antarès offre un contraste frappant avec la couleur blanche d'Altaïr et de Véga.

Si l'astérisme d'Hercule n'est pas bien intéressant par lui-même, ne renfermant que deux cents étoiles visibles à l'œil nu parmi lesquelles deux étoiles seulement de seconde grandeur, il mérite pour d'autres raisons toute l'attention des astronomes. C'est d'abord vers un point du ciel situé entre les deux étoiles de troisième grandeur π et μ (Pi et Mu) que se dirige actuellement le Soleil, entraînant avec lui dans ce mouvement tout son cortège de planètes, de satellites, notre Terre elle-même par conséquent. Quelle orbite mystérieuse décrivons-nous ainsi dans l'espace, et quelle force entraîne de la sorte tout notre monde solaire? C'est une énigme dont le mot est réservé à l'astronomie de l'avenir, d'un avenir de plusieurs siècles sans doute. Aujourd'hui, tout ce que

nous savons, c'est que telle est la direction de notre marche; un changement futur dans cette direction pourra nous apprendre dans quel plan s'effectue notre voyage et peut-être quel est le point du ciel où siège la force qui nous attire. Nous savons encore avec quelle vitesse notre système s'approche de la constellation d'Hercule : chaque année la distance qui nous en sépare diminue de plus de 240 millions de kilomètres.

§ 2. — L'amas d'Hercule.

Un second objet, non pas plus réel, mais plus sensible, va nous intéresser dans la constellation qui nous occupe. Entre deux autres étoiles de troisième grandeur appartenant à Hercule, on peut voir, si le ciel est bien pur, si la lune n'efface pas l'éclat des étoiles, ajoutons encore si l'on jouit d'une bonne vue, une petite tache nébuleuse située au tiers environ de la distance commune des deux étoiles η (ou Hêta) et ζ (ou Zêta).

Découverte par Halley en 1714, décrite par Messier dans son catalogue comme une

nébuleuse sans étoiles, cette nébuleuse a été décomposée ou résolue par W. Herschel, qui l'observa à l'aide de son télescope de vingt pieds de foyer. C'est un *amas stellaire*, agglomération d'étoiles resserrées dans un espace le plus souvent étroit, isolément de très faible grandeur, mais dont les lumières réunies arrivent parfois, comme dans le cas dont il s'agit, à rendre l'ensemble visible à l'œil nu.

L'amas d'Hercule a été, depuis que sa résolubilité fut signalée, l'objet de nombreuses observations. Voici ce qu'en dit sir John dans ces *Outlines of Astronomy* :

« Très riche amas de figure irrégulière; très grand; avec condensation graduellement croissante sans qu'on y distingue un noyau proprement dit; étoiles de la 10e à la 15e grandeur au nombre de plusieurs centaines; des files d'étoiles en forme de branches curvilignes se détachent sur son contour. »

Parmi les observations récentes de ce splendide amas, il faut citer celles qui ont été faites à l'observatoire de Parsonstown, à l'aide du puissant télescope que lord Rosse

y a fait construire. Les astronomes qui l'ont étudié et dessiné ont noté une particularité curieuse de sa structure : d'un point intérieur un peu excentrique, trois fissures sombres, de forme rectiligne, partent en divergeant et en partageant l'amas en trois masses lumineuses distinctes. Rien de pareil n'avait été noté par Herschel, dont le dessin, il est vrai, ne donnait qu'une idée assez vague de l'amas; d'autres dessins, tels que celui qu'ont publié les *Annales de l'Observatoire d'Harvard College* ne laissent non plus soupçonner rien de semblable. Comme il est invraisemblable que ces différences d'aspect correspondent à des changements réels, étant donné le court intervalle de temps séparant les observations, il y a lieu de croire qu'elles tiennent à l'inégal pouvoir de grossissement ou de définition des instruments employés. Les fissures sombres signalées dans l'amas d'Hercule ont une analogie frappante avec celles qui se sont montrées dans la nébuleuse d'Andromède, résolue en étoiles par Bond, à l'aide de la grande et puissante lunette de Cambridge.

En contemplant, l'œil à l'oculaire d'un télescope, un objet aussi merveilleux que l'amas stellaire d'Hercule, mille questions se pressent, s'imposent à la pensée et, à la beauté du spectacle, ajoutent l'attrait des plus hautes spéculations.

Et d'abord, à quelles distances de notre monde sont réléguées de telles associations d'étoiles? La faiblesse d'éclat des étoiles composantes indique assez que ces distances doivent être prodigieusement grandes. Aucune mesure de parallaxe n'a pu et vraisemblablement ne pourra jamais en donner la mesure. Struve a prouvé que les dernières étoiles visibles à l'aide du télescope herschélien de 20 pieds de foyer sont à une distance 25 fois plus grande que les étoiles de sixième grandeur, 227 fois plus grande que la moyenne distance des étoiles de premier ordre. Il y a donc des milliers d'années que la lumière émanée de cet amas est en route alors qu'elle vient former son image au foyer des lunettes assez puissantes pour nous révéler les détails de sa structure.

Ce résultat n'a d'ailleurs, quand on y

réfléchit, rien de quoi nous surprendre, si l'on songe que des centaines d'étoiles ainsi groupées dans un étroit espace apparent ne parviennent pas toutes ensemble, à dépasser l'éclat d'une des dernières étoiles visibles à l'œil nu. La conséquence s'impose, et l'on est fondé à croire que les intervalles des composantes du groupe les plus voisines les unes des autres sont probablement du même ordre de grandeur que ceux qui séparent notre Soleil des étoiles visibles à l'œil nu.

On peut dès lors se faire une idée des dimensions réelles d'un amas tel que l'amas d'Hercule : elles sont tout à fait comparables à celles de l'amas dont notre Soleil fait partie et qui est lui-même tout entier plongé dans la Voie Lactée. Comment l'imagination ne resterait-elle pas confondue devant la sublimité de tels résultats, obtenus cependant par une suite d'observations et de calculs de probabilité des plus simples?

A ceux qui, par une curiosité bien naturelle, voudraient pénétrer au sein d'une telle grandiose accumulation de soleils, dans l'espoir de jouir d'un spectacle nouveau, étrange,

il nous suffira de rappeler qu'ils se trouvent précisément dans une situation toute pareille. En effet, puisque la plupart des étoiles que nous voyons parsemées çà et là sur la voûte céleste, depuis la première jusqu'à la neuvième grandeur, constituent un amas stellaire analogue à l'amas d'Hercule, puisque nous occupons dans cet amas une position à peu près centrale, nous jouissons en réalité du spectacle désiré. Celui que nous offrirait l'amas d'Hercule, dans l'hypothèse où il nous serait donné de pénétrer à son intérieur, aurait sans doute le même aspect général ; seulement les étoiles visibles y formeraient des groupes de figures différentes, d'autres constellations que les nôtres. Les habitants de la Terre, ceux des autres planètes appartenant au monde solaire, peuvent juger plus ou moins bien de la structure intérieure de l'amas dont leur Soleil et eux-mêmes font partie. En revanche, ils en ignorent l'aspect extérieur. Pour se faire une idée de cet aspect, ils n'ont d'autre ressource que de braquer un télescope vers le ciel et d'y contempler les innombrables groupes

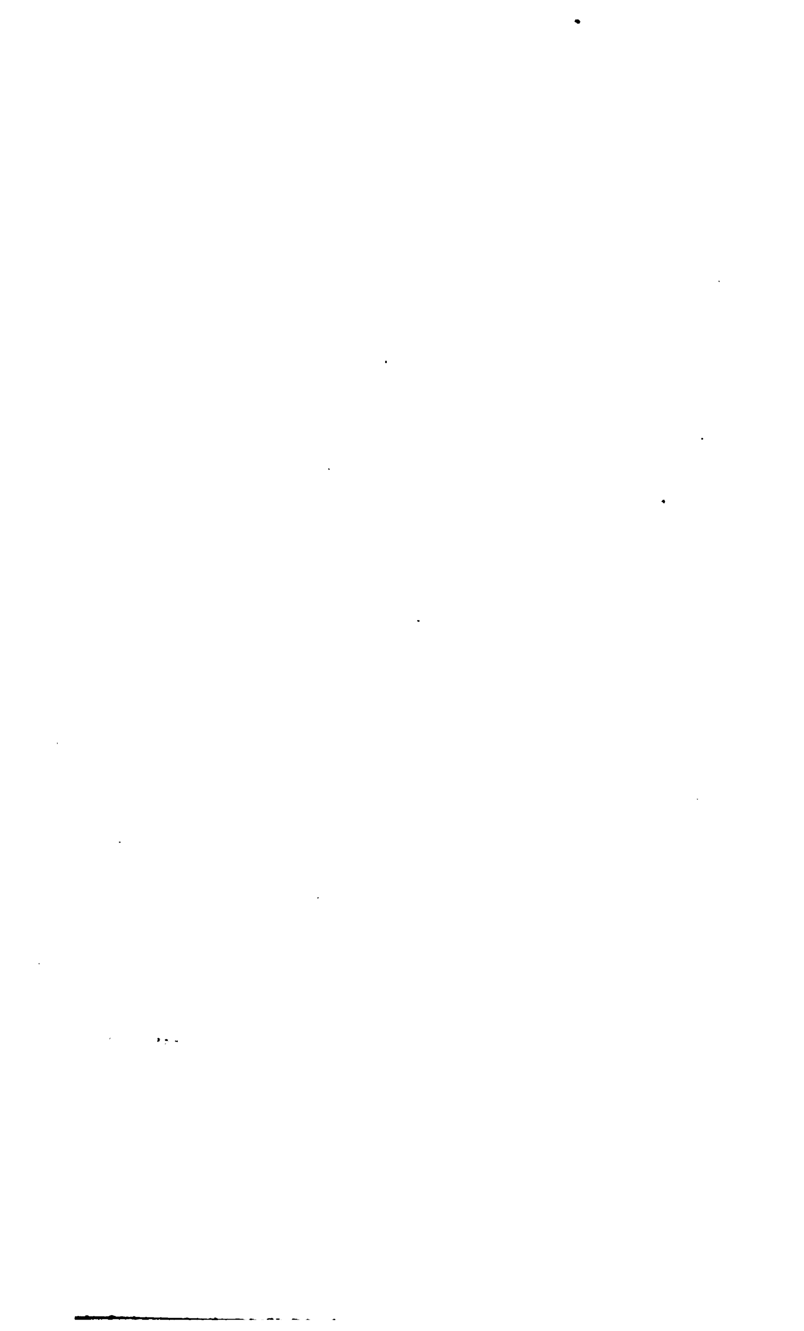
stellaires qui le peuplent et dont la majeure partie est située dans la Voie Lactée ou sur ses bords. Nous reproduisons, pour la satisfaction de cette légitime curiosité, l'aspect de l'amas des Gémeaux. Il ne s'agit pas ici d'une simple esquisse comme l'ont été nécessairement jusqu'à présent les dessins des observateurs, mais d'une image fidèle, puisque c'est la lumière même de l'amas, qui l'a tracée. Là, chaque étoile occupe sa place exacte et se montre avec son éclat relatif, de sorte que si, dans la suite des temps, des changements de position ou des variations de lumière viennent à se produire dans quelque partie du groupe, des photographies exécutées dans les mêmes conditions, ne pourront manquer de les mettre en évidence ; les changements, s'il y en a eu, s'accuseront inévitablement dans les nouvelles épreuves comparées à l'épreuve primitive.

Cette nouvelle et précieuse méthode d'observation appliquée aux 5076 amas aujourd'hui catalogués, ne peut manquer de fournir une mine abondante de documents. A la discussion, la comparaison de ces renseigne-



AMAS STELLAIRE DES GÉMEAUX.

D'après une photographie de MM. Henry, astronomes a l'Observatoire de Paris.



ments d'une indiscutable authenticité feront faire de rapides progrès à cette branche d'astronomie physique. Les patientes et laborieuses recherches d'astronomes tels que les deux Herschel et à leur suite de vingt autres savants ont déjà permis de rassembler les plus curieuses données. Que sera-ce quand la photographie aura produit, pour ainsi dire sans peine, des milliers de représentations des amas stellaires?

On sait déjà comment ils se répartissent dans les diverses régions du ciel; on les a décrits, dessinés, classés selon leurs apparences variées. Les uns ont une forme régulière, arrondie en forme circulaire, probablement sphérique, ou ovale; un petit nombre, les plus intéressants de tous, sont ceux que W. Herschel a désignés sous le nom de *globular clusters*, amas globulaires.

La forte condensation de la lumière en un point central, plus rapide que ne le comporterait une distribution égale dans un espace sphérique, est le témoignage évident de l'action d'une force prépondérante de concentration. Beaucoup d'amas sont irréguliers,

affectant parfois les formes les plus bizarres.

Les 5 à 6000 amas connus se distinguent aussi les uns des autres par la facilité plus ou moins grande de leur résolution en étoiles, quand on emploie, pour les étudier, des instruments du plus grand pouvoir optique. Les uns se décomposent alors en étoiles distinctes; en certains d'entre eux, ces étoiles sont si nombreuses qu'on ne peut les compter; sir John Herschel cite un amas qui, sur une aire à peine égale au dixième de la surface de la Lune, ne renferme pas moins de 10000 étoiles. Il est des amas que les plus forts grossissements ne peuvent décomposer que partiellement; d'autres où l'on ne distingue que des points lumineux imperceptibles, dont l'ensemble forme comme une poussière stellaire, suffisante toutefois pour les distinguer des nébuleuses proprement dites ou irréductibles.

§ 3. — Des mouvements des étoiles composantes dans les amas stellaires.

Parmi les questions que soulève la con-

templation de ces objets mystérieux, aucune n'est plus intéressante que celle qui est relative aux mouvements des composantes et à leur action réciproque, là surtout où la condensation centrale indique l'existence d'un lien physique qu'on suppose être la gravitation. Sur cette matière d'un si haut intérêt spéculatif, laissons la parole au savant illustre que nous avons déjà si souvent cité.

Voici comment s'exprime à ce sujet sir John Herschel, dans ses *Outlines of astronomy* :

« Il est difficile, à la vue d'un groupe ainsi isolé, régulier, arrondi, formant par lui-même un tout, de ne pas le regarder comme constituant un système, d'un caractère particulier et bien défini. La figure arrondie indique clairement l'existence de quelque lien de la nature d'une force attractive ; dans plusieurs amas, il y a une évidente accélération dans le degré de condensation quand on approche du centre, qu'on ne peut attribuer à une simple distribution uniforme d'étoiles équidistantes à l'intérieur d'un espace globulaire, mais qui marque, dans

leur état d'agrégation, une densité intrinsèque plus grande au centre qu'à la surface de la masse. Il est difficile de se faire une idée de l'état dynamique d'un tel système. D'un côté, sans un mouvement de rotation et une force centrifuge, il est bien impossible de ne pas le considérer comme étant dans un état d'affaissement progressif. D'un autre côté, si l'on accorde un tel mouvement et une telle force, nous ne trouvons pas une moindre difficulté à concilier l'apparente sphéricité de leur forme avec la rotation de tout le système autour d'un axe unique, sans qu'il en résulte, à première vue, quelque inévitable collision intérieure. Si l'on suppose un espace globulaire rempli d'étoiles égales, uniformément réparties et très nombreuses, chacune d'elles attirant les autres avec une force inverse du carré des distances, la force résultante par laquelle chacune d'elles (excepté celles de la surface) se trouvera pressée en vertu de ces attractions réunies, sera dirigée vers le centre et en raison directe de leur distance à ce dernier. Cela résulte de la loi de Newton sur l'attrac-

tion interne d'une sphère homogène. Alors sous l'influence de cette force, chaque étoile doit décrire autour du centre de gravité commun une ellipse parfaite, et cela dans quelque plan et dans quelque direction que cette révolution s'effectue. Dès lors, la condition d'une rotation en bloc de l'amas autour d'un axe unique, n'est pas nécessaire. Chaque ellipse, quelle que soit la proportion de ses axes, ou l'inclinaison de son plan sur les autres, sera invariable dans chaque cas parculier; et toutes seront décrites dans une période commune, de sorte qu'à la fin de cette période, ou *grande année* du système, chaque étoile du groupe (excepté celles de la surface) se trouvera rétablie exactement à sa position d'origine, d'où elle partira à nouveau, pour suivre la même route invariable dans la suite indéfinie des siècles. En supposant donc que tous ces mouvements aient été réglés à une certaine époque de telle façon qu'aucune orbite n'en coupe une autre, que la grandeur de chaque étoile et la sphère de son attraction maxima soient petites en raison de la distance comprise

entre les composantes, un tel système, cela est évident, peut subsister et réaliser dans une grande mesure cette harmonie abstraite, idéale, qui, d'après Newton caractérise la loi d'une force variant en raison directe de la distance (1). »

Qu'on nous permette d'ajouter aux considérations qui précèdent une remarque de nature à appuyer la conclusion de l'astronome anglais. Ce qui rend difficile à comprendre la possibilité de l'équilibre dans des systèmes aussi compliqués que les amas globulaires, ce n'est pas tant le nombre des étoiles composantes que leur proximité apparente. Le télescope nous montre tous ces corps rassemblés en un étroit espace, et comme on les suppose tous en mouvement, on ne peut s'empêcher de redouter les conflits résultant, sinon de leurs rencontres et de leurs chocs, du moins de la pénétration réciproque des sphères où l'attraction acquiert une intensité exceptionnelle. De là, l'idée que les perturbations produites ainsi doi-

(1) *Outlines*, 6e édition, § 866.

vent fréquemment troubler l'équilibre général. Cette crainte devient à peu près illusoire, si l'on admet que la moyenne distance qui sépare les unes des autres les étoiles composantes du groupe est du même ordre de grandeur que la distance du Soleil aux étoiles visibles à l'œil nu ; c'est, comme nous l'avons dit plus haut, une hypothèse très vraisemblable, puisque ces étoiles, avec le Soleil lui-même, forment un même amas. Si, au lieu d'être plongé à l'intérieur de cet amas, il nous était donné d'en sortir et de nous en éloigner assez pour qu'il ne nous apparaisse plus, dans un télescope, que sous l'aspect où nous voyons l'amas d'Hercule, ou celui des Gémeaux, par exemple, toutes ces étoiles aujourd'hui dispersées dans toute l'étendue du firmament, nous sembleraient condensées et se toucheraient pour ainsi dire les unes les autres.

En réalité cependant les étoiles de notre amas sont reléguées à de telles distances les unes des autres, que l'attraction de chacune pour ses voisines est presque insensible, et que les perturbations subies de ce chef sont

incapables de troubler d'une manière appréciable l'action de l'ensemble du groupe sur chacune des composantes. Le mouvement du système solaire vers la constellation d'Hercule, résulte très vraisemblablement de la gravitation réciproque entre ce système et toutes les étoiles réunies de l'amas stellaire dont il fait partie, et il est bien probable que des siècles s'écouleront avant que l'observation puisse constater que ce mouvement subit quelque perturbation sensible. Il nous paraît qu'il en doit être de même dans les autres amas stellaires ; mais l'observation seule et surtout la comparaison attentive et suivie des photographies qu'on réussit à obtenir aujourd'hui, pourra porter un jour la lumière sur ces questions difficiles.

IV

STRUCTURE DE L'UNIVERS VISIBLE.

Os homini sublime dedit, cœlum que tueri
Jussit, et erectos ad sidera tollere vultus.

§ 1. — Le système de l'Univers sidéral, d'après les travaux de W. et de J. Herschel.

Ainsi que l'a dit le poète latin, dans les deux vers que nous donnons pour épigraphe à ce chapitre, le visage de l'homme est naturellement tourné vers le ciel, comme s'il devait avoir pour principale occupation la contemplation des astres. La vérité est que les hommes, hélas, ont bien d'autres soucis que d'admirer la beauté des nuits étoilées. Pour le plus grand nombre, c'est vers le sol qu'ils tournent leurs regards, et il le faut

bien : *primò vivere*, dit le proverbe, *deindè philosophari*, vivre d'abord et puis, si les loisirs le permettent, faire de la philosophie, de la science. Quant à ceux qui ont ces loisirs, combien d'autres préoccupations les agitent ; qu'ils sont rares ceux que la tournure de leur esprit, leur goût pour les spéculations élevées, leur passion pour la poésie, amènent à goûter la jouissance du spectacle d'un ciel couvert d'étoiles !

Il faut avouer aussi que, pour qui ne sait rien des choses qu'enseigne l'astronomie, la vue du ciel, de ses myriades de feux étincelants, de la grande écharpe nébuleuse qui le traverse de part en part, peut bien être matière à une admiration d'un instant ; un tel spectacle ne devient une source de vives émotions, de méditations élevées ou de réflexions profondes, que pour les initiés, pour ceux tout au moins qui ont déjà quelque teinture de la science. Mais alors, l'esprit surexcité par la magnificence du champ constellé qui brille aux regards, on ne tarde point à se poser mille questions que l'Astronomie est loin d'avoir toutes résolues, il s'en

faut, mais qu'elle a pour le moins ébauchées, et qui ont le privilège de captiver puissamment l'intelligence.

L'une de ces questions a pour objet la structure générale de l'Univers, de cette portion du moins de l'Univers accessible à la vue simple et à la vision télescopique. Toutes ces étoiles disséminées sur la surface des cieux, sont-elles répandues au hasard dans l'espace, ou bien forment-elles des groupes ; y a-t-il en un mot, un plan dans la constitution du monde ? Nous allons essayer de répondre à ces questions autant qu'il est possible dans l'état actuel de la science.

Dans une série de mémoires ayant pour titre commun *On the constructions of the Heavens* (sur la constitution des cieux) le grand astronome qui a illustré l'observatoire de Slough, William Herschel, a abordé ce problème, le plus vaste par son objet, le plus grandiose par la sublimité de ses conclusions. Avant lui, des astronomes observateurs, des géomètres, des philosophes, Galilée,

Képler, Huygens, Lambert, Kant, J. Michell s'étaient essayés à le résoudre, à des époques où les observations du monde sidéral étaient trop peu nombreuses encore pour permettre autre chose que des ébauches de la solution, ébauches de plus en plus serrées, il est vrai, et où l'on trouve maints aperçus ingénieux ou profonds sur la question posée.

Herschel ne prit point pour fondement de ses opinions de pures spéculations où l'imagination, les vues philosophiques préconçues jouent trop souvent un rôle, mais ses propres observations, continuées et accumulées obstinément pendant une suite ininterrompue de quarante-deux années. Laissant de côté l'histoire des tentatives antérieures que nous venons de rappeler, nous prendrons pour dire ce qu'on sait aujourd'hui de la structure de l'Univers visible, non seulement les travaux de W. Herschel, mais ceux de son fils sir John Herschel et de leurs continuateurs, jusqu'à l'époque contemporaine.

Un simple coup d'œil jeté sur la voûte céleste montre les étoiles disséminées comme

au hasard, assez également si l'on ne considère que les six ou sept premiers ordres de grandeur, c'est-à-dire les seules étoiles visibles distinctement à l'œil nu. Plusieurs régions néanmoins sont manifestement plus riches que d'autres en étoiles brillantes, des deux premiers ordres notamment. Les figures qu'elles forment par leur assemblage, ont évidemment attiré les regards des plus anciens observateurs qui, pour se reconnaître dans cette multitude de points brillants, imaginèrent les groupes artificiels des constellations. Mais ces divisions du ciel étoilé, tout à fait arbitraires, ne correspondaient à aucun groupement réel ; l'idée même d'un tel groupement ne pouvait naître qu'après des siècles de progrès astronomiques, disons mieux, après l'invention des lunettes et télescopes.

Alors le problème se posa naturellement, quand le ciel se peupla d'une multitude d'étoiles jusqu'alors inaperçues.

Une première remarque ne pouvait manquer de frapper l'esprit des astronomes qui cherchèrent alors à se faire une idée du plan

de l'Univers stellaire. C'est ce fait, qu'en dehors des étoiles isolées et de leur distribution plus ou moins uniforme, une zone d'aspect tout différent de celui des autres régions célestes, partage le ciel en deux moitiés presque égales ; cette zone est la Voie Lactée que Galilée décomposa le premier, en y appliquant sa lunette, en étoiles distinctes. Plus le pouvoir optique des instruments s'accrut, plus il devint évident que la nébulosité ne paraissait confuse que par l'accumulation de petites étoiles, et plus la Voie Lactée prit d'importance dans le problème de la structure de l'Univers sidéral. Elle devint la base de tous les systèmes imaginés par les astronomes dont on a lu plus haut les noms pour donner une idée de cette structure.

Qu'on la considère dans sa branche principale, là où elle est unique, ou dans ses deux branches secondaires, là où elle se bifurque, la Voie Lactée offre une faible largeur relative, eu égard à sa longueur qui fait le tour entier du ciel. A cette première remarque, on en ajoute une seconde d'une grande im-

portance, à savoir que si par sa forme générale et dans sa moyenne largeur, elle ne diffère pas beaucoup d'un grand cercle de la sphère, du moins, ce défaut de coïncidence est incontestable.

Il résulte de là que nous sommes — nous c'est-à-dire notre soleil, notre monde solaire — situés à l'intérieur de la grande zone, un peu excentriquement, soit dans le sens du plan général, soit dans le sens de son épaisseur. Mais alors, deux questions principales se posent au sujet de la constitution de la Voie Lactée : l'une relative à sa forme réelle et à la distribution des étoiles qui la composent, l'autre relative à ses dimensions véritables et à ses limites.

On peut expliquer de deux manières l'accumulation des étoiles dans la Voie Lactée, et la densité plus ou moins grande de ses parties, qui se traduit à l'œil sous forme de nuances plus ou moins prononcées. W. Herschel essaya d'abord de rendre compte de ces phénomènes, en supposant que les étoiles composant la zone sont également espacées dans toutes les directions à l'intérieur d'une

strate dont l'épaisseur est petite en comparaison de la longueur et de la largeur. « Dans cette strate, la Terre occupe une place plus éloignée du milieu de l'épaisseur et voisine de l'endroit où elle se subdivise en deux lames principales, inclinées d'un petit angle l'une à l'autre. Car il est clair que si l'œil est placé ainsi, et si nous supposons que les étoiles sont distribuées assez uniformément dans l'espace qu'elles occupent, la densité apparente sera la plus petite, dans une direction du rayon visuel perpendiculaire à la lame, et la plus grande dans la direction de la largeur. En même temps la densité augmenterait rapidement, en passant d'une direction à l'autre, exactement comme nous voyons qu'un brouillard léger se condense près de l'horizon, en un banc nébuleux distinct, uniquement par l'augmentation rapide de la longueur du rayon visuel (1). »

Il résulterait de ce premier système d'explication de la Voie Lactée, qu'en comptant les nombres d'étoiles qui se voient dans ses

(1) J. Herschel, *Astronomie*.

diverses parties, la comparaison de ces nombres suffirait pour mesurer les dimensions relatives de la zone dans les directions correspondantes, et l'ensemble donnerait une idée de sa forme extérieure. C'est ce travail considérable, entrepris et continué avec une infatigable persévérance par W. Herschel, qui constitue la méthode dénommée par lui-même *gaging of the Heavens*, jaugeage du ciel. Indiquons quelques-uns des résultats auxquels parvint le célèbre observateur.

Le Soleil, ainsi qu'on l'a vu déjà, avec toutes les étoiles visibles à l'œil nu est peu éloigné du centre de la nébuleuse. Le diamètre le plus long passant par ce centre mesure 850 fois la distance moyenne d'une étoile de première grandeur. Le plus court, dans une direction à peu près perpendiculaire à la première, est beaucoup moins étendu : l'épaisseur est ainsi cinq fois et demie moindre que la longueur, ne mesurant que 155 distances égales à celle des étoiles de premier ordre. La lumière mettrait seulement 2400 ans à traverser la Voie Lactée dans son épaisseur, tandis qu'il ne lui faudrait pas

moins de 13000 ans pour aller d'un bord à l'autre dans le sens de sa longueur.

Les limites ainsi calculées supposent que les étoiles de la zone sont à peu près uniformément réparties, et en outre qu'avec son télescope de 20 pieds de foyer, W. Herschel atteignait réellement partout les dernières étoiles qui la bornent. Or une étude plus approfondie l'amena peu à peu à reconnaître que ni l'une ni l'autre de ces hypothèses n'étaient fondées. D'une part, si la richesse en étoiles indique bien en général qu'elles sont situées à une plus grande distance, néanmoins l'augmentation de densité est plutôt en rapport avec une réelle condensation dans les régions qu'elles occupent. D'autre part, la pénétration du télescope de 20 pieds n'atteignait pas, comme il l'avait cru d'abord, les limites de la Voie Lactée. Même avec le télescope de 40 pieds, là où l'œil soupçonnait un reste de nébulosité, l'emploi d'un plus fort grossissement prouvait que cette apparence douteuse était produite par le mélange de nombreuses étoiles, trop petites pour être vues distinctes quand le

grossissement était plus faible. D'où cette conclusion que si les jauges herschéliennes étaient impuissantes à résoudre la Voie Lactée en étoiles, ce n'est pas que la nature en soit douteuse, c'est qu'elle est *insondable*.

Dès lors la forme même de la grande nébuleuse reste indéterminée, et ses dimensions variées ne peuvent être connues que dans certaines directions, là où les dernières étoiles visibles dans les plus puissants télescopes se détachent dans le champ de vue, sur un fond complètement noir, dépourvu de toute nébulosité. En certaines régions de la zone, on aperçoit le fond du ciel entièrement vide d'étoiles, d'où l'on conclut qu'en ces directions existent des trouées dans la nébuleuse, par où notre rayon visuel pénètre sans obstacle jusqu'aux profondeurs du ciel les plus éloignées. En d'autres régions au contraire les étoiles se projettent innombrables, sur un fond lumineux qui indique l'existence d'autres étoiles plus lointaines. En ces points, la Voie Lactée semble n'avoir aucune limite, et les nombres que nous avons donnés plus haut pour exprimer ses dimensions diamé-

trales sont infiniment au-dessous de la réalité. La lumière des parties irréductibles de la grande nébuleuse est peut-être en route depuis des millions d'années, quand elle arrive à la Terre. Que sommes-nous, qu'est notre planète, que sont les siècles de notre histoire devant de tels abîmes de distance, devant l'immensité des durées qu'ils supposent nécessairement ?

Les observations de W. Herschel s'appliquaient surtout à la portion boréale du ciel. Son illustre fils, sir John Herschel, les a complétées par l'étude du ciel austral, et n'a fait que confirmer, en les précisant, les vues de son père. Le nombre des nébuleuses et des amas catalogués, s'est trouvé considérablement accru, mais leur distribution ainsi que celle des étoiles visibles, rapportée au plan de la Voie Lactée, a montré la même tendance que dans le ciel boréal. C'est toujours dans la zone que les étoiles sont accumulées, ainsi que les amas, tandis que les nébuleuses sont relativement plus nombreuses dès qu'on s'en éloigne.

En résumant les travaux des deux Hers-

chel, et ceux qui ont été entrepris depuis par divers astronomes contemporains, nous allons essayer de dire ce qu'on sait aujourd'hui de cette intéressante question de la structure de l'Univers visible.

La Voie Lactée est une immense nébuleuse, entièrement formée d'étoiles et d'amas d'étoiles, condensés les uns et les autres selon un plan principal qui divise le ciel visible en deux parties à peu près égales. A mesure qu'on s'éloigne de part et d'autre de ce plan ou mieux des deux plans qui limitent la zone dans le sens de son épaisseur, les étoiles des divers ordres, mais surtout les plus petites ainsi que les amas stellaires, diminuent rapidement en nombre jusqu'à deux points opposés nommés pour cette raison *pôles galactiques*.

Toutes les étoiles visibles à l'œil nu, ainsi que la plus grande partie des étoiles télescopiques isolées, disséminées dans le ciel, forment réunies un amas unique, tout entier plongé dans l'épaisseur de la Voie Lactée dont il est une partie intégrante. Notre Soleil est lui-même une des étoiles de cet amas.

On évalue à un million au moins le nombre des étoiles qui le constituent.

Les amas de la Voie Lactée, dont le nombre dépasse plusieurs centaines, sont en général plus rapprochés de nous que la plupart des étoiles les plus faibles qui en font également partie.

L'Univers visible comprend un certain nombre de systèmes analogues à la Voie Lactée, systèmes que leur éloignement ne permet de voir que sous forme de Nébuleuses. Les deux Nuées de Magellan, l'un des ornements du ciel austral, sont deux de ces systèmes que leur proximité relative rend visibles à l'œil nu. Il y a une différence toutefois entre la composition de la Voie Lactée et celle des Nuées : outre les étoiles disséminées qu'on y distingue, elles renferment des nébuleuses et des amas, mais ce sont les nébuleuses qui s'y trouvent en plus grand nombre, tandis que, comme on vient de le voir, dans la Voie Lactée, ce sont les amas.

Nous ne ferons que mentionner ici les nébuleuses proprement dites, c'est-à-dire celles qui n'ont pu, malgré tous les efforts des astro-

nomes, être décomposées en étoiles et qu'on soupçonne formées d'une matière particulière de nature gazeuse. Nous en parlerons dans un autre des chapitres de cet ouvrage. C'est donc uniquement de l'Univers stellaire que nous venons d'esquisser le tableau d'après les données les plus récentes. Ce tableau est nécessairement bien incomplet. Il eût fallu un volume pour exposer les méthodes qui ont conduit d'éminents astronomes à ces conclusions, pour montrer par quelles discussions approfondies, par quels calculs laborieux, ils arrivaient à les formuler. Les observations seules ont exigé de persévérantes veillées, pendant deux siècles au moins employés à l'étude du ciel sidéral.

Le jour n'est pas loin où l'on pourra, sans tant de labeur et en un temps beaucoup plus court, compléter, étendre ces vues sur la constitution de l'Univers. La carte du ciel, levée authentiquement par les procédés de la photographie, substituera à de pénibles observations la pose des plaques sensibles au foyer de l'objectif des grands télescopes. On

pourra, à tête reposée, résoudre bien des problèmes qui nécessitent aujourd'hui des recherches pénibles, longues, et d'ailleurs sujettes aux erreurs inévitables même pour les observateurs les plus exercés.

V

LE MOUVEMENT DANS L'UNIVERS.

---

§ 1. — Les mouvements propres des Étoiles.

Un trait manque au tableau que je viens d'esquisser, c'est celui du mouvement de cette multitude d'astres dont on a vu que l'Univers visible se compose. Voyons ce que les observations nous enseigneut sur ce point capital.

A ne consulter que les apparences, rien n'est plus propre que l'aspect du ciel étoilé à donner l'idée du repos absolu. Le seul mouvement sensible est celui de l'ensemble qui, d'un jour à l'autre, entraîne toutes les constellations sans changer leur figure, mouvement apparent dû à la rotation de la Terre.

Une observation un peu plus prolongée nous fait déjà reconnaître la marche continue de la Lune au travers des étoiles, en sens contraire du mouvement diurne. Puis ce sont les diverses planètes, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, qui, de plus en plus lentement, se déplacent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et c'est ainsi que nous acquérons la première notion de l'existence d'un groupe particulier d'astres qui circulent, comme notre globe même, autour d'une étoile centrale, le Soleil, supposé lui-même immobile.

Restent les innombrables étoiles, les *fixes*, ainsi qu'on les a longtemps appelées, parce que longtemps on a pu les considérer comme immobiles.

Il a fallu tous les progrès réalisés depuis deux siècles dans l'art d'observer, toute la précision apportée aux mesures de la position des étoiles, ces points lumineux, pour détruire l'idée de leur fixité ou de leur immobilité, par des observations positives. C'était en effet une détermination d'une excessive délicatesse, et le problème ne put être considéré comme résolu, tant que le mouvement

propre supposé fut confondu avec les mouvements apparents dus au mouvement de notre planète sur son orbite, tels que la parallaxe, l'aberration, ou aux déviations dues à la réfraction, sans parler des erreurs inhérentes à toute observation astronomique.

Les premières déterminations exactes du mouvement propre des étoiles datent du milieu du dernier siècle. Quelques secondes d'arc en toute une année; c'est à cette infime quantité que se réduisent les mouvements propres les plus prononcés, on n'ose dire tout d'abord les plus rapides. Mais quand on songe à l'énorme distance où la Terre se trouve des régions où s'effectuent ces mouvements, on voit que l'expression n'aurait rien que de très juste. Il faut remarquer d'abord que les mouvements constatés ne sont que la projection des mouvements vrais, puisqu'ils se font dans des directions qui peuvent être peu inclinées avec celles du rayon visuel. D'ailleurs 1 seconde d'arc, à la distance où se trouve l'étoile la plus rapprochée de la Terre, équivaut au moins au rayon de l'orbite terrestre, c'est-à-dire à 148 millions de kilomè-

tres. Mais la plupart des mouvements propres mesurés appartiennent à des étoiles beaucoup plus éloignées, de sorte que la distance réellement parcourue est elle-même considérablement plus grande.

Quant au mouvement apparent, si faible qu'il soit en un an, il se multiplie en raison de l'accumulation des années et, à la longue, il finit par être très sensible. Écoutez ce qu'Humboldt dit à ce sujet dans son *Cosmos* (1) :

« Arcturus, μ de Cassiopée et la 61e du Cygne se sont déplacées, depuis 20 siècles, de quantités angulairement équivalentes à 2 1/2, 3 1/2 et 6 fois le diamètre du disque de la Lune. Une autre étoile, dont l'éclat atteint presque l'extrême limite de la visibilité à l'œil nu, la 1830e du Catalogue de Groombridge (6-7e ou 7e gr.) marche avec encore plus de vitesse, droit sur l'amas d'étoiles de 5e et de 6e grandeur qui forme la chevelure de Bérénice. Si cette étoile conserve pendant 71 siècles la vitesse et la direction actuelle de son

(1) II, 214.

mouvement, elle quittera la Grande Ourse, décrira un arc égal à près de 27 fois le diamètre de la Lune, et viendra se projeter juste au milieu de l'amàs si clairsemé de la Chevelure. Dans le même laps de temps, vingt étoiles se seront déplacées de plus de deux degrés. Or, comme les mouvements propres déjà connus et mesurés, varient de 0″5 à 7″,7, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 154, il est évident que les distances mutuelles des étoiles doivent s'altérer à la longue, et que la figure actuelle des constellations ne peut toujours durer. La Croix du Sud, par exemple, ne conservera pas toujours sa forme caractéristique, car ses quatre étoiles marchent en sens différent et avec des vitesses inégales. On ne saurait calculer aujourd'hui combien de myriades d'années doivent s'écouler jusqu'à son entière dislocation; qu'importe? ni pour l'espace, ni pour le temps il n'existe de termes absolus de grandeur ou de petitesse. »

L'analyse de la lumière des étoiles par le spectroscope n'a pas seulement révélé la composition chimique de leur photosphère et permis de comparer pour ainsi dire les in-

tensités de leurs radiations. Entre les mains d'observateurs habiles, le nouvel instrument donne un moyen de mesurer la vitesse et la direction des mouvements propres, calculés dans le sens du rayon visuel. Les raies du spectre d'une étoile en mouvement, celles du sodium, par exemple, sont déviées soit vers le rouge, soit vers le violet du spectre selon que l'étoile s'éloigne ou s'approche de la Terre: la quantité de cette déviation étant en rapport avec la vitesse du déplacement. C'est une méthode d'une délicatesse excessive qui a fourni déjà de remarquables résultats, et qui s'applique aux mouvements des étoiles doubles autour de leur commun centre de gravité.

§ 2. — Translation du système solaire.

Naturellement ce sont les étoiles les plus voisines de nous qui sont affectées en général des mouvements apparents les plus rapides. Ces étoiles font partie du même amas stellaire que notre Soleil et ainsi nous sommes témoins de leurs révolutions, mais est-ce au-

tour d'un centre de gravitation prépondérant? Ou au contraire, leurs mouvements sont-ils, pour chacune, la résultante des actions des autres composantes du groupe? C'est là une question qu'aucune donnée ne permet encore de résoudre. La même question se pose pour le Soleil, que son mouvement propre entraîne dans la direction actuelle de la constellation d'Hercule.

Notre Soleil se meut, en effet, comme les autres étoiles. On connaissait par l'observation des taches son mouvement de rotation et sa durée. Comment est-on arrivé à constater et à mesurer son mouvement de translation? On pense bien que ce n'est point ici le lieu d'exposer la méthode qui a permis d'arriver à ce résultat: je me bornerai à une comparaison suffisante, je crois, pour en faire comprendre la possibilité.

Supposons un voyageur qui marche en ligne droite au milieu d'une vaste clairière. Il voit tout autour de lui, à l'horizon, des arbres plus ou moins espacés, plus ou moins distants du point qu'il occupe. S'il restait immobile, rien ne changerait à ses yeux dans

l'aspect de l'horizon; mais s'il se met en marche, il verra bientôt se produire des mouvements apparents dans tous ces objets. Les arbres situés en face de lui, dans la direction de la route qu'il suit, paraîtront s'écarter peu à peu les uns des autres; au contraire, s'il se retourne, les arbres situés dans une direction opposée, se rapprocheront de plus en plus; à droite ou à gauche, ils sembleront se mouvoir dans un sens opposé à celui de son propre déplacement. Des phénomènes semblables à ceux que nous venons de décrire, mais bien plus compliqués, auraient lieu si, au lieu de considérer des objets réellement immobiles comme les arbres, il voyait à l'horizon des corps eux-mêmes en mouvement. Tel est le cas pour un observateur posté sur la Terre et examinant les étoiles, que nous venons de voir animées de mouvements propres. Entraîné avec notre planète et tout le système dans la direction de la constellation d'Hercule, il devra pouvoir constater un mouvement d'ensemble de tout le ciel étoilé en sens contraire de celui qu'il effectue lui-même.

Problème difficile, d'autant plus difficile qu'il s'agissait précisément de déterminer cette direction, jusqu'alors inconnue. Les noms de W. Herschel, d'Argelander, d'O. Struve, de Peters sont attachés désormais à la solution.

On le voit : le mouvement existe dans toutes les parties de l'Univers, et il ne paraît pas douteux que le principe en est dans cette loi de la gravitation qualifiée à juste titre de gravitation universelle. Ce calme apparent du ciel étoilé, cette fixité qui fut longtemps un dogme pour l'ancienne astronomie, n'est qu'une illusion due à l'immensité des distances.

Les mouvements propres des étoiles, celui du système solaire sont-ils des mouvements orbitaires autour de quelque centre? Et s'il en est ainsi, arrivera-t-on jamais à connaître la durée de ces vastes périodes qui, selon l'expression d'Humboldt, « forment comme une horloge éternelle de l'Univers. Supposons un instant, ajoute l'illustre auteur du *Cosmos*, que ce qui ne peut être qu'un rêve de notre imagination se réalise, que notre

vue dépassant les limites de la vision téles-copique, acquière une puissance surnaturelle, que nos sensations de durée nous permettent de comprendre et de resserrer pour ainsi dire, les plus grands intervalles de temps; aussitôt disparaît l'immobilité apparente qui règne dans la voûte des cieux. Les étoiles sans nombre sont emportées, comme des tourbillons de poussière, dans des directions opposées; les nébuleuses errantes se condensent ou se dissolvent, la Voie Lactée se divise par places, comme une immense ceinture qui se déchirerait en lambeaux, partout le mouvement règne dans les espaces célestes, de même qu'il règne sur la terre, en chaque point de ce riche tapis de végétaux, dont les rejetons, les feuilles et les fleurs présentent le spectacle d'un perpétuel développement. Le célèbre naturaliste espagnol Cavanilles eut, le premier, l'idée de voir « l'herbe pousser », et il dirigeait une forte lunette munie d'un fil micrométrique horizontal, tantôt sur la tige d'un aloès américain (*Agave americano*) dont la croissance est si rapide, tantôt sur la cime d'un bourgeon de bambou,

précisément comme font les astronomes, lorsqu'ils placent la croisée des fils de leurs télescopes sur une étoile culminante. Dans la nature physique, pour les astres comme pour les êtres organisés, le mouvement paraît être une condition essentielle de la production, de la conservation et du développement. »

§ 3. — Possibilité de la rencontre de deux étoiles.

En présence du fourmillement d'étoiles que le télescope découvre dans les profondeurs du ciel, et étant donné que tous ces corps sont en perpétuel mouvement, animés de vitesses qui se mesurent par dizaine de kilomètres en 1 seconde, n'y aurait-il pas lieu de craindre des conflits, des rencontres qui seraient des catastrophes pour les deux astres? De tels événements ne sont certainement pas impossibles : qui sait si les apparitions presque subites d'étoiles nouvelles ne sont pas dues à de pareilles collisions? Le choc de deux masses pareilles à celles de

deux astres, fût-ce des astres obscurs, donnerait lieu à un si énorme développement de chaleur, par la transformation des forces vives des deux mobiles, que l'incandescence en serait l'inévitable conséquence ; ou, s'il s'agissait de deux soleils, déterminerait un accroissement de l'intensité de leurs radiations qui les ferait monter rapidement dans l'échelle des grandeurs. Est-ce un événement de ce genre qui a élevé tout à coup, en 1866, de la neuvième à la seconde grandeur l'étoile signalée dans la constellation de la *Couronne boréale*? On ne sait : en tout cas, n'oublions point que, dans l'ordre général de la nature, les phénomènes qui nous semblent d'effroyables catastrophes, ne sont que des accidents, d'inévitables conséquences de l'accomplissement de ses lois.

Mais, pour en revenir à la faible probabilité de telles rencontres, il suffit, pour se rassurer à cet égard, de comparer les dimensions des étoiles ou même les dimensions des systèmes de planètes dont ces étoiles sont le centre, avec les espaces libres où s'effectuent leurs mouvements propres, avec

les distances qui séparent ces étoiles de leurs voisines les plus rapprochées.

Prenons le Soleil pour exemple, et le rayon de son globe pour unité. Parmi les étoiles dont la distance à notre système a été mesurée, c'est Alpha du Centaure dont la parallaxe est la plus grande : les dernières déterminations lui donnent 0″,72 pour valeur. Cela correspond à 290 000 fois le rayon de l'orbite de la Terre, environ 43 trillions de kilomètres, distance que la lumière met 4 ans et demi à franchir. Telle est notre voisine la plus rapprochée. Voyons combien le volume du Soleil est contenu de fois dans la sphère qui a pour rayon la distance d'Alpha du Centaure, dans l'espace libre où notre Soleil et son cortège de planètes peuvent se mouvoir sans craindre de fâcheuse rencontre.

Le rayon moyen de l'orbite terrestre vaut 215 rayons du globe solaire. Alpha du Centaure est donc éloigné du Soleil de 290 000 × 215 ou, en nombres ronds, de 62 millions de ces rayons solaires. Le volume de notre étoile centrale comparé à celui de l'espace sphérique vide de matière qui l'en-

toure jusqu'à l'étoile la plus voisine, est donc égal à une fraction de cet espace ayant pour dénominateur le cube de 62 000 000, c'est-à-dire le nombre 242 suivi de 21 zéros, soit 242 sextillions, ou encore deux cent quarante-deux mille milliards de milliards!

En étendant la sphère du Soleil jusqu'à l'orbe de Neptune, c'est-à-dire jusqu'aux limites connues du système solaire, le dénominateur en question se réduirait à 860 milliards environ. Même alors, on voit quel immense espace est réservé au libre mouvement de notre étoile, et par voie de conséquence à chacune des étoiles de l'amas dont elle est une composante. La possibilité d'une rencontre ne doit donc devenir un fait réel qu'à des intervalles de temps excessivement éloignés. Tout récemment un astronome, M. Jäger, appliquant à cette question du conflit de deux étoiles, le calcul des probabilités, a trouvé qu'une telle rencontre n'avait de chance de se produire que tous les 328 milliards de milliards d'années! N'est-il pas vrai que nous et nos arrière-neveux pouvons dormir tranquilles?

VI

LA NÉBULEUSE D'ORION. — UNE AUTRE VOIE LACTÉE.

---

§ 1. — Existe-t-il de véritables nébuleuses? Vues de W. Herschel.

Existe-t-il de véritables nébuleuses?

Ou, au contraire, tous ces nuages lumineux, ces lueurs de forme et de dimensions infiniment variées, que le télescope découvre dans les profondeurs du ciel et que les astronomes ont catalogués par milliers, ne sont-ils que des amas d'étoiles distinctes? Est-ce par le fait de l'immensité de leurs distances, ou de la petitesse des étoiles composantes, ou encore par l'effet de ces causes réunies, que les instruments les plus puissants ne parviennent point à les résoudre?

Depuis 280 ans que Simon Marius (ou Mayer) découvrit, près de l'étoile ν d'Andromède, la nébuleuse de forme ovale que l'œil nu distingue sans peine dans les nuits bien sereines, la question est agitée par les astronomes, car la double solution formulée ci-dessus trouve également des partisans convaincus. Je dirai bientôt ce qui semble devoir faire pencher la balance du côté de la première et porte à croire qu'en effet, outre les corps célestes biens définis, comme les étoiles et les planètes, il y a dans l'espace, de vastes agglomérations d'une matière *sui generis*, diffuse, brillante d'une lumière propre, et le plus souvent fort irrégulièrement condensée.

Mais auparavant, rappelons quelques faits.

Sir J. Herschel, dans son Catalogue général des Nébuleuses, comptait 5076 objets distincts (ce nombre a été augmenté depuis par la découverte de plusieurs centaines de nébuleuses), et, dans ce nombre total, il y avait 565 amas stellaires, 469 nébuleuses résolubles en étoiles, 4042 étaient soit des nébuleuses proprement dites ou irréductibles,

soit des nébuleuses susceptibles d'être décomposées par des télescopes plus puissants.

On voit immédiatement, par cette classification, que, dans l'opinion de l'illustre astronome, un certain nombre de nébuleuses ne sont pas de nature stellaire. C'était l'opinion, bien nettement prononcée de son père le grand William Herschel, la sienne et celle aussi de nombre d'astronomes qui observèrent après eux et qui, comme eux, trouvaient dans les lueurs de certaines nébuleuses, un aspect indéfinissable, caractéristique. C'est ce qu'ils exprimaient par exemple, en disant de la grande nébuleuse de l'Épée d'Orion, « qu'elle ne fait naître aucune sensation d'étoiles, qu'on n'y reconnaît point ces élancements stellaires, indices d'une décomposition probable ».

Toutefois, c'étaient là surtout des raisons de sentiment plutôt que des preuves réelles. Les partisans de l'hypothèse opposée soutenaient que les nébuleuses soi-disant irrésolubles sont des amas que leur distance fait échapper au pouvoir de décomposition des télescopes. Et ils alléguaient en faveur de

leur opinion le fait que, à chaque accroissement de pouvoir optique, le télescope décompose des nébuleuses réputées irréductibles jusque-là. La nébuleuse d'Andromède était dans ce cas; sa lueur laiteuse donnait l'idée d'une matière nébuleuse non stellaire; or Bond y a découvert et compté jusqu'à 1500 étoiles. Les observations faites à Parsonstown, avec le gigantesque télescope de 1m,83 d'ouverture, construit par lord Rosse, ont permis de décomposer nombre de nébuleuses jusque-là indécomposables. Il était donc permis de supposer qu'il en serait de même de toutes les nébuleuses, si l'on pouvait leur appliquer des instruments d'une suffisante puissance.

D'un autre côté, les partisans de l'hypothèse nébuleuse s'appuyaient principalement sur les observations de W. Herschel, sur les nombreux cas de nébuleuses irrésolues, présentant des indices non douteux de concentration de la matière lumineuse qui, selon lui, les constituait. Il n'était pas possible sans doute de suivre sur un même objet les phases successives de cette condensation,

depuis le moment où la lueur présente, en un ou plusieurs points, une légère augmentation, jusqu'à celui où, par un accroissement graduel de densité, ces points ont acquis l'intensité d'éclat d'une étoile. De telles phases exigent sans doute, pour se dérouler, des intervalles de temps d'une excessive longueur, et une vie d'homme serait absolument insuffisante pour permettre de constater un changement d'intensité lumineuse. Heureusement, disaient-ils, dans le nombre considérable des nébuleuses offrant des indices de condensation stellaire, on en trouve qui offrent tous les degrés possibles du phénomène. Il en est de cela comme des arbres d'une forêt, que le botaniste ne peut en un seul jour voir passer par toutes les phases de la végétation, considérées sur le même individu, mais qui lui donneront l'idée exacte de ces phases s'il les étudie séparément, depuis le plus jeune jusqu'au plus âgé de la forêt. L'argument est ingénieux sans doute ; cependant il ne fournit qu'une probabilité, non une preuve décisive.

Une difficulté, qui n'était point sans em-

barrasser les hommes de science, était de concevoir la nature physique de cette matière cosmique répandue en si grande profusion et sur des espaces d'une si prodigieuse étendue.

Était-ce un gaz, une vapeur incandescente ? ou une agglomération de corpuscules solides ou liquides lumineux par eux-mêmes ? Et dans l'une ou l'autre de ces hypothèses, comment se rendre compte des conditions qui produisent et entretiennent cette incandescence ? On a bien comparé la lumière des nébuleuses à celle de gaz phosphorescents ; on lui a supposé une origine électrique, comme à celle de nos aurores polaires ; mais ce sont là des hypothèses bien vagues et bien insuffisantes.

Si la matière nébuleuse est incandescente, est-ce par l'effet des chocs ou des frottements des particules qui la composent ? Dans le cas d'une condensation déterminée par la chute progressive de ces particules, tombant, sous l'empire de la gravitation, vers une masse centrale prépondérante, la transformation du mouvement en chaleur est suffi-

sante pour rendre compte de l'incandescence. Mais si cette explication de l'incandescence est vraisemblable pour les nébuleuses où cette condensation est nettement accentuée, ce n'est point le cas pour ces espaces diffus dont la lueur uniforme n'indique l'existence d'aucune condensation pareille.

Comment résoudre de tels problèmes, par quelle méthode en aborder l'étude? Il y a seulement cinquante ans, on n'avait sur tout cela que des conjectures, conjectures qui n'étaient pas du reste sans valeur, quand elles étaient émises par des astronomes tels que les Herschel, dont la vie entière pour ainsi dire avait été consacrée à la science du ciel, et qui avaient recueilli tant de données précieuses sur l'astronomie sidérale.

§ 2. — Analyse spectrale des nébuleuses : l'existence d'une matière diffuse démontrée.

Il était donné à notre époque d'inaugurer une méthode nouvelle, l'analyse spectrale des lumières célestes. Appliqué aux étoiles, après l'avoir été à notre étoile centrale, au

Soleil, le spectroscope avait permis de reconnaître ce fait fondamental, à savoir que les éléments constitutifs des soleils innombrables dont l'espace est peuplé, sont chimiquement les mêmes que ceux que nous voyons, métalloïdes ou métaux, former tous les corps à la surface de la Terre. Bien plus, les spectres stellaires ont permis de ranger les étoiles en différentes classes, selon l'état physique de leurs photosphères et le degré plus ou moins élevé de leurs températures.

Or on est parvenu à appliquer la même méthode aux nébuleuses. Parmi les astronomes qui ont fait faire à la question un pas décisif, nous devons citer un savant anglais, M. Huggins, à qui l'on doit de nombreuses et importantes recherches d'astronomie. Dès 1864, il réussissait à obtenir le spectre d'une nébuleuse appartenant à la constellation du Dragon. Ce spectre est formé uniquement de trois raies brillantes isolées, appartenant l'une au spectre de l'azote, la seconde à l'hydrogène, la troisième au baryum. D'où la conclusion que la nébuleuse observée n'est point formée par des étoiles distinctes,

qu'elle est constituée par une masse de nature gazeuse, lumineuse par incandescence. Cette première observation suffirait à elle seule pour démontrer la réalité de l'existence d'une matière nébuleuse, selon l'hypothèse de W. Herschel.

Mais elle fut suivie de beaucoup d'autres, qui vinrent confirmer cette importante conquête de l'analyse spectrale. Sans entrer dans le détail de ces observations nouvelles, bornons-nous à dire que, sur 70 nébuleuses analysées, M. Huggins en a trouvé un tiers ayant une constitution analogue à la nébuleuse du Dragon, c'est-à-dire ayant des spectres se réduisant à une ou plusieurs raies brillantes, indiquant une matière gazeuse à l'état d'incandescence. Les deux autres tiers étaient stellaires, leurs spectres continus indiquant pour ces nébuleuses une matière solide ou liquide incandescente, ce qui ne peut s'entendre que d'étoiles distinctes.

§ 3. — La grande nébuleuse de Thêta d'Orion.

Dans le nombre des nébuleuses dont la lumière a été analysée, figure une des plus remarquables du ciel par ses dimensions et par sa forme. Je veux parler de la grande nébuleuse de l'Épée d'Orion qui mérite, à tous égards, une description détaillée.

Tout le monde connaît, pour l'avoir admirée dans les belles nuits d'hiver (elle passe au méridien vers minuit, à l'époque du solstice) la brillante constellation d'Orion. A la partie inférieure du grand quadrilatère formé par Rigel, Betelgeuse et deux autres étoiles de 2e et de 3e grandeur, et au-dessous des trois Rois, se voit une belle étoile multiple, marquée θ (Thêta) sur les catalogues. Tout autour se développe une nébulosité dont la surface, suivant l'évaluation de sir J. Herschel, atteint celle du disque de la pleine lune.

Bien que visible à l'œil nu comme une lueur confuse, dans les nuits sereines, la nébuleuse de l'Épée d'Orion est restée inconnue des astronomes jusqu'en 1656, époque

où elle fut vue pour la première fois par Huygens. Voici les termes dont se servit l'illustre astronome pour annoncer cette découverte.

« Lorsque j'observais à l'aide d'un télescope de 23 pieds de longueur focale, les bandes variables de Jupiter, la tache d'ombre qui avoisine l'équateur de Mars, et quelques autres détails peu visibles, particuliers à cette planète, je remarquai dans les étoiles fixes un phénomène qui, à ma connaissance, n'avait encore été signalé par personne, et ne pouvait être reconnu exactement qu'à l'aide des grands télescopes dont je me sers. Les astronomes ont compté, dans l'Épée d'Orion, trois étoiles très voisines l'une de l'autre. Lorsqu'en 1656, j'observai par hasard celle qui occupe le centre du groupe, au lieu d'une j'en découvris douze, résultat que d'ailleurs il n'est pas rare d'obtenir avec les télescopes. De ces étoiles il y en avait trois qui, comme les premières, se touchaient presque, et quatre autres semblaient briller à travers un nuage, de telle façon que l'espace qui les environnait paraissait beaucoup plus lumineux

que le reste du ciel, qui était entièrement noir. On eût cru volontiers qu'il y avait une ouverture dans le ciel qui donnait jour sur une région plus brillante. Depuis et jusqu'à ce jour, j'ai revu le même phénomène sans aucun changement ; de sorte que ce prodige, quel qu'il soit, semble fixé là pour toujours. Jamais je n'ai rien vu de semblable dans les autres étoiles fixes. »

Ce *prodige*, selon l'expression d'Huygens, n'était cependant qu'une assez faible partie, la plus brillante il est vrai, de la grande nébuleuse. Elle a conservé le nom de celui qui l'a découverte et est désignée dans toutes les descriptions ultérieures sous la dénomination de ***Région d'Huygens***. Les télescopes perfectionnés ont augmenté l'étendue de la nébuleuse ainsi que le nombre des très petites étoiles qui se projettent sur elle. Mairan, Messier et W. Herschel au dernier siècle, Lamont, sir J. Herschel, Liapounow, Struve, G. P. et W. C. Bond, dans celui-ci, ont étudié, décrit et dessiné la grande nébuleuse d'Orion, reproduite depuis par la photographie et analysée au spectroscope par W. Hug-

gins. Aucune partie de ce magnifique objet n'a échappé aux investigations de ces habiles observateurs ; et nous pouvons compléter notre description, à l'aide de leurs dessins.

Vue à l'aide de la grande lunette achromatique de Cambridge, la nébuleuse d'Orion présente un aspect tout à fait fantastique. La région la plus brillante, celle d'Huygens est une sorte de polygone lumineux, dont deux côtés qui la limitent vers le sud sont presque rectilignes : à l'orient, une large ouverture sombre figure la gueule béante d'un monstre, et en dedans, presque au centre, une sorte de cavité circulaire, voilée par une lueur légère, est occupée par la fameuse étoile multiple Thêta : quatre étoiles brillantes rangées en forme de trapèze et accompagnées de trois étoiles beaucoup plus faibles constituent ce groupe singulier dont la connexion avec la nébuleuse est regardée comme certaine par tous les observateurs. L'étoile Thêta au centre de cette sorte de cavité, figure fort bien, pour continuer notre comparaison, l'œil du monstre. De la tête partent des branches de nébulosité dont les savants américains ont

signalé la forme spiraloïde. La branche orientale ressemble à une trompe qui prolonge le nez de l'animal. La nébulosité se perd de tous les côtés, sauf à l'orient et au nord, en couvrant une grande étendue de la région céleste environnante. L'espace vide du côté du nord renferme une nébulosité isolée, au centre de laquelle brille une étoile.

Telle est, dans ses traits principaux, cette nébuleuse, remarquable entre toutes par la singularité de sa structure.

Quant à son intime constitution, tous les observateurs dont on a lu les noms plus haut, s'accordent à la considérer comme très complexe.

La région d'Huygens est, comme on vient de le voir, la partie la plus lumineuse de la nébuleuse d'Orion ; mais elle est loin d'être homogène étant constituée par un assemblage de masses ayant une texture granulaire, pommelée, indiquant une composition stellaire. Ce sont évidemment, comme l'a prouvé d'ailleurs l'examen de ces parties à l'aide des grands télescopes de Cambridge et de Parsonstown, de véritables amas d'étoiles, dont

les composantes sont trop resserrées pour être vues distinctement, mais se décèlent par les élancements de la lumière au sein de chaque agglomération. De très faibles et très nombreuses étoiles se projettent de toutes parts sur le fond des nébulosités les plus faibles, et d'après Bond, il n'est pas douteux que la plupart de ces étoiles sont en connexion physique avec la nébuleuse. Il en est évidemment de même des nombreuses petites étoiles rouges que lord Rosse a vues se détacher sur la nébulosité d'un bleu verdâtre qui constitue la majeure partie de la nébuleuse d'Orion : il est possible du reste que ces deux teintes complémentaires se trouvent l'une et l'autre accentuées par le contraste.

Ainsi, il n'y a pas à douter que la grande nébuleuse soit, au moins partiellement, composée d'étoiles. On sait que telle est la structure de la Voie Lactée, et il n'y aurait dès lors rien d'étonnant dans l'hypothèse qu'elle en est une dépendance. Son voisinage de la grande zone a fait croire qu'elle était le prolongement d'un de ses rameaux,

de celui, par exemple qui se détache de Persée dans la direction d'Aldebaran et des Hyades. Sir J. Herschel penchait vers cette opinion.

D'autre part, les résultats trouvés par Huggins à l'aide de l'analyse spectroscopique, sont également favorables à la composition gazeuse de la nébuleuse d'Orion. Sa lumière, en effet, fournit un spectre composé de raies brillantes, bien définies et à intervalles tout à fait obscurs. Chimiquement, c'est un composé gazeux, où l'azote, le fer, l'hydrogène entrent comme éléments. Voilà donc encore résolue cette question de l'existence d'une matière nébuleuse diffuse, brillant d'une lumière qui lui est propre, due à l'incandescence de la masse. Mais, dans le cas de la nébuleuse d'Orion, il y a cette particularité de la coexistence des agglomérations stellaires et des nébulosités proprement dites.

Un jour viendra, encore éloigné sans doute, où la comparaison attentive des clichés photographiques permettra de reconnaître si, comme on l'a déjà cru voir par

les observations télescopiques ordinaires, des changements se produisent dans les diverses régions des nébuleuses de cet ordre; peut-être pourra-t-on s'assurer ainsi que des étoiles nouvelles ont apparu en des points où la matière nébuleuse s'est progressivement condensée aux dépens des régions avoisinantes qui se seraient appauvries. Ainsi se trouverait justifiée cette vue hardie de l'astronome qui considérait la grande nébuleuse d'Orion comme « un laboratoire de mondes ».

Ce qui paraît prouvé, c'est qu'un tel objet, bien qu'il ne recouvre sur le ciel qu'un espace d'un peu plus de 2 degrés carrés (évaluation de G. P. Bond), est en réalité une association comparable en étendue à notre Voie Lactée. Comme elle, elle renferme des amas stellaires, d'innombrables étoiles isolées; mais, de plus qu'elle, sa constitution nébuleuse en fait un groupe à part, parmi les milliers d'agglomérations que le télescope découvre dans les profondeurs du ciel. C'est de la nébuleuse d'Orion que Lambert, dans l'exposé

de ses idées sur la constitution de l'Univers, a dit qu'elle était sans doute une Voie Lactée voisine de la nôtre.

Parmi les nébuleuses connues et étudiées, celle qu'on voit dans le voisinage de ν d'Andromède (la première de toutes les nébuleuses observées) peut-être aussi considérée comme formant un système analogue à notre Voie Lactée. Longtemps regardée comme indécomposable, nous avons vu plus haut que l'astronome américain G. P. Bond a fini par y reconnaître la présence de nombreuses étoiles. Bien que le noyau de cette grande nébuleuse, de forme elliptique, ait résisté à la décomposition, Bond ne paraissait pas douter, que, comme la Voie Lactée, elle soit tout entière de nature stellaire. Et, en effet, la lumière de la nébuleuse d'Andromède, analysée au spectroscope, a donné un spectre continu, tout comme celui du bel amas de la constellation d'Hercule.

VII

L'AGE DES ÉTOILES

§ 1. — Les nébuleuses, par leurs condensations successives donnent naissance aux étoiles.

J'emprunte le titre de ce chapitre à une savante lecture faite en octobre 1887, dans la séance publique annuelle des cinq Académies, par l'éminent directeur de l'Observatoire de Meudon, M. Janssen.

Pour que l'on puisse dire des étoiles qu'elles ont un âge, pour qu'il soit possible de les comparer à ce point de vue et de les ranger par ordre d'ancienneté, il faut qu'elles aient eu un commencement, il faut que les unes soient nées avant les autres. Et comme la naissance implique générale-

ment un développement et une fin, on comprend que la thèse soutenue par le savant astronome et académicien, est celle de l'évolution, grande et universelle loi qui régit tous les phénomènes de l'univers sur la Terre comme au ciel.

L'idée n'est pas nouvelle, sans doute, comme on va s'en rendre compte; mais les preuves qui en démontrent la vérité et que M. Janssen a invoquées à l'appui, sont une conquête toute récente de la science, et viennent s'ajouter aux hardies conjectures des Kant, des W. Herschel et des Laplace.

Quand, par de longues observations des nébulosités que le télescope découvre dans les profondeurs du ciel, W. Herschel fut convaincu de l'existence de nébuleuses irréductibles, constituées par une matière spéciale répandue sur de grands espaces, il se demanda pourquoi un grand nombre de nébuleuses proprement dites, offrent, çà et là, des parties plus lumineuses que les parties voisines.

Finalement et après un examen approfondi des hypothèses possibles, l'illustre

astronome en vint à conclure qu'il s'agissait là de points autour desquels la matière nébuleuse s'était peu à peu condensée. Il suivit ces noyaux, ainsi que nous l'avons déjà rappelé, non pas dans leurs phases successives de condensation sur la même nébuleuse (tout fait croire que ces phases ont des durées d'une excessive longueur), mais sur une suite de nébuleuses distinctes, où le noyau d'abord très faible augmente d'intensité jusqu'à devenir une étoile. Et il acquit alors la conviction que c'est ainsi que se sont formées et se forment encore toutes les étoiles, aussi bien celles qui paraissent isolées que les étoiles réunies par groupe de deux, de trois, ou d'un nombre quelconque d'individus, constituant par leur ensemble les amas stellaires aujourd'hui existants.

Arago, dans sa belle notice sur les travaux astronomiques du grand observateur de Slough, résume dans les termes qu'on va lire les vues d'Herschel sur la transformation des nébuleuses en étoiles :

« La lumière de ces grandes taches lai-

teuses est généralement très faible et uniforme ; çà et là seulement, on remarque quelques espaces *un peu plus brillants que le reste.*

« A quoi faut-il attribuer cette augmentation d'intensité ? Dépend-elle d'une plus grande *concentration* ou d'une plus grande *profondeur* de la matière nébuleuse ? Le choix entre les deux explications n'est pas indifférent.

« Les places où, dans les grandes nébulosités, se remarque une lumière comparativement vive, ont d'ordinaire *peu d'étendue.* Si donc on veut attribuer le phénomène à une plus grande profondeur de la matière nébuleuse, il faudra concevoir qu'à chacun des points en question correspond une sorte de colonne de cette matière : colonne rectiligne, très resserrée, et *exactement dirigée vers la Terre.* Cette spécialité de direction pourrait sembler possible, dans tel ou tel point particulier. Il n'en saurait être ainsi ni pour l'ensemble des places rayonnantes circonscrites qu'offre tout le firmament, ni même pour les deux, les

trois ou les quatre de ces places qui se remarquent dans une seule nébuleuse. Il faut donc admettre qu'il s'est produit une condensation, une augmentation de densité dans certains points des espaces nébuleux dont tout à l'heure nous calculions la vaste étendue superficielle.

« Cette condensation est-elle l'effet d'une force attractive, analogue à celle qui maîtrise, qui régit tous les mouvements de notre système solaire? Tel est le magnifique problème dont nous devons maintenant chercher la solution. »

Voici dans quel ordre doivent se développer les phénomènes dans l'hypothèse de l'existence de divers centres d'attraction répandus sur toute l'étendue d'une seule et vaste nébuleuse :

« Çà et là, la disparition de la lueur phosphorescente; la naissance de solutions de continuité, de *déchirures* dans le rideau lumineux primitif, résultat nécessaire du mouvement de la matière vers les centres attractifs ;

« L'agrandissement des déchirures, c'est-

à-dire la transformation d'une nébuleuse unique en plusieurs nébuleuses distinctes, peu distantes les unes des autres et liées quelquefois par des filets de nébulosités très déliés;

« L'*arrondissement* du contour extérieur des nébuleuses séparées; une augmentation plus ou moins rapide de leur intensité, de la circonférence au centre;

« La formation à ce centre d'un noyau très apparent, soit par les dimensions, soit par l'éclat;

« Le passage de chaque noyau à l'état stellaire avec la persistance d'une légère nébulosité environnante;

« Enfin, la précipitation de cette dernière nébulosité, et, pour résultat définitif, autant d'ÉTOILES qu'il y avait dans la nébulosité originaire de centres d'attractions distincts. »

Laplace, dans la note magistrale de son *Exposition du système du monde* où il propose sa théorie de la formation des planètes du monde solaire et de leurs satellites, adopte les idées de l'astronome anglais, et

suppose comme lui que le Soleil était à l'origine une nébuleuse. On sait que le grand philosophe de Kœnigsberg, Kant, dans sa *Théorie du ciel*, à émis des vues tout à fait semblables. Aujourd'hui que, sauf des modifications de détail, la cosmogonie de Laplace est considérée par tous les savants comme l'expression d'une haute vérité scientifique, on me permettra de rappeler ici les quelques lignes où l'illustre géomètre traite de l'origine de notre étoile centrale. Elles sont le témoignage d'une adhésion complète aux idées de W. Herschel :

« Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité, précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus

diffuse, le noyau étant de moins en moins lumineux. On arrive ainsi, en remontant aussi loin qu'il est possible, à une nébulosité tellement diffuse, que l'on pourrait à peine en soupçonner l'existence.

« Depuis longtemps, la disposition particulière de quelques étoiles, visibles à la vue simple, a frappé des observateurs philosophes. Mitchell a déjà remarqué combien il est peu probable que les étoiles des Pléiades, par exemple, aient été resserrées, dans l'espace étroit qui les renferme, par les seules chances du hasard; et il en a conclu que ce groupe d'étoiles et les groupes semblables que le ciel nous présente, sont les effets d'une cause primitive ou d'une loi générale de la nature. Ces groupes sont un résultat nécessaire de la condensation des nébuleuses à plusieurs noyaux; car il est visible que la matière nébuleuse étant sans cesse attirée par ces noyaux divers, ils doivent former à la longue un groupe d'étoiles pareil à celui des Pléiades. La condensation des nébuleuses à deux noyaux formera semblablement des étoiles très rapprochées,

tournant l'une autour de l'autre, telles que les étoiles doubles dont on a déjà reconnu les mouvements respectifs. »

Tel est le point de départ de Laplace. Il étend, comme on le voit, à toutes les parties de l'Univers sidéral, l'origine et le mode de formation du Soleil, qui lui sert ensuite à expliquer, conformément aux lois de la dynamique, l'origine et la formation de tous les astres de notre système planétaire.

Dès lors, les nébuleuses, celles du moins que le télescope ne parvient pas à décomposer en étoiles distinctes, ou mieux celles dont la lumière analysée au spectroscope indique l'état de gaz incandescents, ne sont pas, dans la structure de l'Univers, des masses étrangères au monde sidéral. Elles constituent, à des degrés divers, et à des phases successives, les embryons des futures agglomérations sidérales. Ce sont bien, comme on l'a dit, des *laboratoires de mondes*.

Ainsi s'est peu à peu fait jour, dans la science astronomique, l'idée d'évolution jusque-là réservée à notre planète et aux êtres qui la peuplent. Arrivera-t-on jamais à

vérifier, par des observations positives faites successivement à de longs intervalles, la réalité des phases subies par les nébuleuses? C'est ce que nos arrière-neveux pourront dire peut-être, si, grâce aux méthodes nouvelles donnant les images fidèles d'objets aussi difficiles à représenter par le dessin, on parvient à saisir, sur des clichés photographiques obtenus dans des conditions identiques, des différences de forme ou d'éclat.

§ 2. — L'âge des étoiles; l'âge du Soleil.

On ne sait pas quelles peuvent être les durées, pour une même nébuleuse, des phases de ses transformations. Il est possible que ces durées soient si longues qu'elles se comptent par milliers, par millions d'années, et dès lors l'espoir de pouvoir les constater un jour nous semblerait tout à fait chimérique. Toutefois, l'apparition des étoiles nouvelles ou temporaires, montre que certains phénomènes peuvent se manifester brusquement et nous rendre de la sorte

témoins de transformations subies par les étoiles. Il ne faut donc pas désespérer tout à fait de la possibilité d'acquérir quelques connaissances positives sur la genèse des mondes, pendant leurs phases nébuleuses.

Voyons, en attendant, ce qu'on est parvenu à savoir des étoiles elles-mêmes et de leur âge. Rappelons d'abord que, parmi ces millions d'étoiles qui rayonnent vers nous leur lumière, l'immense majorité est reléguée à de telles distances, l'intensité de leurs radiations est si affaiblie par le trajet qu'effectuent les ondulations qui en émanent, qu'il est à peu près impossible de recueillir des données sur leur constitution physique. Seules, les étoiles des premiers ordres de grandeur ont pu fournir à la science des documents propres à nous éclairer sur l'état où elles se trouvent, et des termes de comparaison sur les phases de leur existence qu'elles ont déjà traversées, sur leur âge relatif, en un mot.

Une d'elles surtout, par sa proximité, par ses dimensions apparentes, par l'abondance des effluves lumineux et calorifiques qu'elle

envoie à la Terre, est éminemment propre à une étude directe. Tout le monde comprend que je veux parler de l'étoile qui gouverne tout notre système de planètes et de satellites, c'est-à-dire du Soleil.

Quel est l'âge du Soleil? Depuis quand a-t-il dépassé la période embryonnaire des condensations successives de la matière nébuleuse qui lui donna naissance, et s'est-il constitué à l'état d'étoile isolée? Les astronomes peuvent-ils répondre aux questions ainsi posées? Rigoureusement parlant, on peut dire que cela n'est pas possible, je veux dire que rien n'autorise à énoncer même approximativement, le nombre d'années ou de révolutions de la Terre, qui s'est écoulé depuis cette époque si prodigieusement reculée. Mais, en s'appuyant sur des considérations de thermodynamique, qu'il ne serait pas possible de développer ici, des savants, astronomes et physiciens, sont néanmoins parvenus à assigner à l'âge de notre Soleil des limites d'une suffisante précision pour satisfaire provisoirement notre curiosité, sous ce rapport.

Le Soleil rayonne incessamment, dans toutes les directions de l'espace, la chaleur, la lumière et d'autres ondulations chimiques. On s'est efforcé de calculer l'intensité de ce triple rayonnement, tel qu'il arrive à la surface extérieure de notre atmosphère. Pouillet, J. Herschel et plus récemment des physiciens français, MM. Violle, Crova, sont parvenus à déterminer ce qu'on nomme la *constante solaire*, c'est-à-dire le nombre de calories reçues par exemple en 1 minute, sur une surface égale à 1 mètre carré, à la limite supérieure de notre atmosphère.

Cette quantité connue, il est aisé d'en déduire la quantité totale rayonnée par le Soleil, dans tout l'espace et pendant l'intervalle d'une année. C'est la dépense de l'astre, dépense qui doit diminuer d'autant son pouvoir de radiations, à moins qu'il n'ait, d'autre part, un moyen d'entretenir ou mieux de renouveler cette radiation. Le principe de la conservation de la force ou de l'énergie, démontré théoriquement et vérifié expérimentalement dans le courant de ce siècle, exige impérieusement qu'à toute dépense

d'activité calorifique ou lumineuse, corresponde un affaiblissement dans l'intensité de la source. Si donc, la chaleur du Soleil reste constante ou semble rester telle depuis un temps immémorial, depuis les temps historiques, cela tient, soit à ce que la dépense annuelle est une fraction imperceptible de l'énergie totale, soit à ce que notre Soleil recouvre d'une autre façon sa chaleur dépensée.

D'après Tyndall, ce n'est ni la combustion, ni aucune des affinités chimiques connues, qui peut entretenir la radiation solaire avec la constance qu'on lui voit depuis des milliers d'années. « Si le Soleil était un bloc de houille, dit-il, et qu'on l'approvisionnât assez d'oxygène, pour le rendre capable de brûler au degré qu'exige la radiation mesurée, il serait entièrement consumé au bout de 5000 ans ».

W. Thomson, pour expliquer l'entretien de la radiation solaire, avait d'abord supposé qu'elle était due à la chute incessante des météores qui circulent dans les régions circumsolaires et que l'attraction de l'astre

précipitait à sa surface. Le mouvement résultant, et le choc produit par la chute de ces corps, en se transformant en chaleur, rendait compte de l'entretien de la radiation. Mais alors le milieu environnant l'astre, par sa résistance au mouvement de certaines comètes, aurait troublé ce mouvement, perturbation qui est démentie par les observations astronomiques.

Pour donner une idée de la chaleur que la chute d'un corps est capable de produire à la surface du Soleil, on a calculé le temps pendant lequel chacune des planètes principales entretiendrait la radiation solaire, dans l'hypothèse où elles se précipiteraient à sa surface sous la seule influence de la gravitation. La chute de notre planète ne donnerait pas tout à fait un siècle; Jupiter à lui seul plus de 32 000 années; toutes les planètes réunies, à peine 46 000 ans.

Une explication plus plausible de l'entretien de la radiation solaire est celle qui consiste à supposer que la condensation originelle n'a pas cessé de se produire, depuis que toute la nébuleuse primitive s'est con-

centrée dans le globe solaire. Les éléments de la nébuleuse, sous l'action de la force de gravitation, prépondérante dans le noyau, se précipitaient sur ce centre, et ce mouvement incessant, par sa transformation en chaleur, contribuait à accroître l'intensité rayonnante.

Actuellement cette action n'a pas cessé de s'exercer, mais sous une autre forme qui est la contraction de la masse solaire. Helmholtz, puis W. Thomson ont adopté cette explication qui permet de rendre compte de la lenteur avec laquelle la radiation solaire diminue, lenteur telle que cette diminution n'a pu encore être constatée depuis l'époque la plus reculée dans les temps historiques. On a calculé en effet qu'une diminution d'un millième dans le diamètre du Soleil suffirait à maintenir sa radiation actuelle pendant une durée de vingt et un siècles. Or, on ne mesure avec précision le diamètre du Soleil que depuis deux siècles à peine, et une aussi faible diminution que celle produite en un intervalle aussi court, eût été à peu près insensible.

Helmholtz, à qui l'on doit cette explication, a trouvé que « la force mécanique équivalente à la gravitation mutuelle des particules de la masse nébuleuse, aurait valu, à l'origine, 454 fois la quantité de force mécanique actuellement disponible dans le système ». En un mot, les 998 millièmes de l'énergie due à la force de gravitation dans la nébuleuse solaire, auraient été déjà dépensés en chaleur.

Mais les 2 millièmes qui lui restent et sont emmagasinés dans la masse solaire, au cas où rien ne viendrait compenser la dépense, combien d'années pourraient-ils durer encore? C'est à cette question que répond W. Thomson, quand il dit que « nous ne devons pas nous imaginer que le Soleil contienne actuellement de la chaleur pour plus d'un petit nombre de millions d'années ».

« Quand je dis, ajoute le savant anglais, *un petit nombre de millions*, je dois ajouter que je considère une centaine de millions comme étant un petit nombre de millions, et que je ne vois aucune raison sérieuse pour soutenir que le Soleil n'ait pu fournir de la

chaleur pendant une centaine de millions d'années avec l'intensité actuelle de son émission. Un article que j'ai publié dans le *Macmillan's Magazine*, en 1862, sur l'âge de la chaleur du Soleil, contient les résultats de l'examen de différentes questions relatives à la quantité de chaleur que peut contenir le Soleil. J'ai traité ce corps céleste comme si j'avais eu à m'occuper d'une pierre ou d'une masse quelconque de matière ordinaire. Je n'ai considéré que ses dimensions et je me suis assuré qu'il était possible que le Soleil éclairât la Terre depuis *cent millions* d'années, mais en même temps qu'il n'était point probable qu'il l'eût éclairée pendant *cinq cents millions* d'années ».

Entre cent millions et cinq cents millions, la marge est grande sans doute ; ces limites suffisent néanmoins pour donner une idée de l'âge du Soleil ou du temps écoulé depuis qu'il existe à l'état d'étoiles : la moyenne de 300 millions d'années, si considérable qu'elle nous paraisse eu égard aux durées dont l'humanité a conservé le souvenir, est peut-être bien inférieure à la vie de notre

étoile. Il convient d'ailleurs d'ajouter que les calculs des savants dont on a lu les noms supposent entre les phénomènes physiques dont le Soleil est le théâtre et les phénomènes de même ordre à la surface de la Terre, une identité qui n'est pas absolument prouvée. On sait bien par l'analyse spectrale que les substances dont l'astre est composé sont les mêmes corps simples que ceux que connaît la chimie; mais les conditions de pression et de température, la capacité calorifique, le pouvoir émissif de la photosphère et des masses solaires internes peuvent modifier les lois connues dans une mesure difficile à apprécier. Il convient donc de n'accepter les évaluations d'Helmholtz et de W. Thomsom que comme des résultats provisoires, probables, mais non démontrés.

Ces évaluations nous suffiront pour le but que je me propose ici, qui est de montrer, en prenant le Soleil pour terme de comparaison, comment on est arrivé à classer les étoiles, d'après les degrés d'intensité des radiations qu'elles émettent, suivant leurs âges.

§ 3. — Ages relatifs des Étoiles.

Les étoiles sont des soleils, mais est-ce à dire qu'elles sont toutes physiquement et chimiquement constituées comme le Soleil? Non probablement ; mais, comme le Soleil, elles brillent de leur lumière propre ; comme lui, elles sont des sources de lumière et de chaleur. Longtemps, on a dû se borner à cette assertion dont l'évidence était démontrée par le seul fait de l'immensité des distances stellaires. On y ajoutait, mais sans qu'on pût en tirer de conséquences positives, que sans doute, outre la différence d'éclat provenant de l'inégalité soit de leurs distances, soit de leurs diamètres, leurs radiations n'avaient pas la même intensité intrinsèque; les différences de couleur devaient correspondre probablement à cette dernière inégalité. Tout cela n'était que conjectures.

C'est encore l'analyse spectrale qui est venue accroître les connaissances des astronomes sur ces questions difficiles. Elle s'est attaquée d'abord au Soleil, et elle a fait voir que les innombrables raies sombres dont le

spectre de sa lumière est sillonné, sont dues à des absorptions électives des vapeurs qui enveloppent sa photosphère. On a su de la sorte que la masse incandescente est constituée par une série de substances identiques aux corps simples terrestres, métalloïdes et métaux. Le sodium, le magnésium, le fer et une multitude d'autres corps sont, à la haute température de la masse, volatilisés à la surface; une couche continue d'hydrogène incandescent, qu'on a nommée la chromosphère, est superposée à l'enveloppe lumineuse ou photosphérique, et il s'en échappe sous forme de flammes, des jets qui s'élèvent dans une atmosphère plus rare. jets qu'on avait pu voir d'ailleurs antérieurement pendant la durée de certaines éclipses totales.

Grâce à cette analyse, étendue à l'étude des taches, de leurs pénombres, des facules, des protubérances, on est arrivé à se faire une idée suffisamment exacte de la constitution physique du Soleil. En ce qui concerne sa température, on ne croit plus avec Secchi qu'elle se mesure par 2 millions de degrés,

ou même avec Zöllner par 27 000. Ces nombres fantastiques ne correspondent à rien de ce que l'expérience nous a appris à connaître. Mais qu'elle dépasse sans doute les températures les plus élevées que nous connaissions, qu'elle s'élève à 2 ou 3000 degrés, voilà qui donne déjà une haute idée de l'intensité calorifique de la photosphère, et cela suffira pour nous servir de point de comparaison.

Appliquée aux lumières des étoiles, la spectroscopie est arrivée aux résultats que nous allons résumer en quelques lignes.

Les spectres stellaires peuvent se classer en trois types principaux; nous laisserons de côté les types secondaires qui caractérisent un petit nombre d'étoiles faibles.

Le premier type est celui des étoiles blanches ou légèrement bleuâtres. La plus brillante étoile du ciel, Sirius, puis la belle étoile de la Lyre, Véga, en sont les représentants les plus remarquables. Leur spectre est, d'après Secchi qui a établi le premier cette classification, « formé de l'ensemble ordinaire des sept couleurs,

interrompu par quatre fortes lignes noires, l'une dans le rouge, l'autre dans le vert-bleu, les deux dernières dans le violet. Ces quatre raies appartiennent à l'hydrogène; elles coïncident avec les quatre raies les plus brillantes que l'on distingue dans le spectre de ce gaz, lorsqu'il est porté à une haute température, par exemple dans les tubes de Geissler. Outre ces raies fondamentales et très larges, on voit dans les étoiles les plus brillantes, comme Sirius, une raie noire très fine dans le jaune qui paraît coïncider avec celle du sodium, et dans le vert des raies plus faibles qui appartiennent au magnésium et au fer. La particularité la plus frappante de ce type, c'est la largeur des raies de l'hydrogène, largeur qui tendrait à prouver que la couche absorbante possède une grande épaisseur, et qu'elle est soumise à une pression considérable (1). »

La moitié environ des étoiles appartient à ce type. Il est remarquable par la prédominance de la région violette du spectre sur

(1) Secchi, *le Soleil*, II, 449.

la région du rouge, indice certain d'une très haute température.

Le second type est celui des étoiles jaunes comme Arcturus, la Chèvre, Aldebaran, Procyon. Leur spectre est tout à fait semblable à celui du Soleil, étant sillonné comme ce dernier de raies noires fines et serrées, et occupant les mêmes positions. Voilà donc des étoiles (elles forment à peu près le tiers de toutes celles qu'on compte dans le ciel) qui ont certainement avec la nôtre, la plus grande analogie : leur composition chimique est la même; elles sont dans le même état physique, ont la même température. On peut les considérer comme des contemporaines du Soleil, ou, tout au moins comme parvenues à la même phase dans leur développement.

Enfin vient la troisième catégorie, le type des étoiles rouges, au spectre sillonné de raies noires, comme le second type, mais, de plus, recouvert d'un grand nombre de bandes nébuleuses, qui donnent à l'ensemble du spectre l'aspect d'une colonne cannelée. Alpha d'Hercule, Alpha d'Orion, Antarès, Bêta de Pégase sont au nombre des étoiles

qui offrent cette disposition singulière. On attribue ces cannelures à l'absorption que subit la lumière photosphérique en traversant des couches où dominent les oxydes métalliques. L'état physique des étoiles de ce troisième type est donc caractérisé par une moindre intensité de radiation, par une température inférieure à celle de notre Soleil. Ce sont des astres parvenus à une phase plus avancée de leur développement, ou d'un âge plus ancien.

On le voit : il est dès maintenant possible, en étudiant au spectroscope la lumière des étoiles, de les classer selon l'énergie de leurs radiations et par conséquent de dire si elles se trouvent à l'une ou à l'autre des phases de leur existence, et selon les expressions employées par M. Janssen dans son intéressante lecture, à leur jeunesse, à leur âge mûr ou à leur décrépitude.

Ce qu'on ne sait pas, c'est la durée de chacune de ces périodes; nous avons vu plus haut, entre quelles larges limites on a pu renfermer l'âge probable de notre Soleil. Sans doute, entre les myriades des astres qui

rayonnent leurs feux dans l'espace, il existe une variété infinie, au point de vue de la durée de leurs fonctions solaires ; les différences de volumes, de masses, de constitution chimique suffisent à rendre compte de cette inégalité.

Une autre question qui se pose et qui reste sans réponse, c'est celle qui est relative au maximum de l'intensité des radiations émises. Ce maximum est-il atteint à l'époque où chaque étoile est complètement dégagée de la nébulosité qui l'a formée et où elle brille sans aucun voile. Ou bien est-ce plus tard qu'elle atteint sa plus grande puissance rayonnante. Il paraît certain qu'il y a deux mille ans, Sirius était une étoile rougeâtre ; elle est devenue blanche depuis, ce qui serait en faveur de la seconde hypothèse. Peut-être aussi ce changement est-il du même ordre que ceux que l'observation a constatés dans les étoiles variables non périodiques.

VIII

LA FIN DU MONDE SOLAIRE. — AGES RELATIFS DU SOLEIL ET DES PLANÈTES.

---

§ 1. — La fin du monde solaire.

Si Helmholtz a dit vrai, si le Soleil a dépensé déjà les 453/454e de l'énergie que contenait la masse nébuleuse d'où la condensation l'a fait émerger, la fin du monde, j'entends la fin de notre monde solaire est proche. Peu à peu notre étoile centrale va voir diminuer son pouvoir lumineux et calorifique. La précipitation des oxydes métalliques va envahir sa surface photosphérique, que des taches de plus en plus nombreuses et de plus en plus étendues recouvriront, et de la deuxième classe, passant

rapidement à la troisième, il figurera parmi les étoiles à teinte rougeâtre, indice d'un déclin imminent. Enfin, franchissant cette dernière phase de son existence solaire, il cessera d'émettre des radiations lumineuses, pour passer à l'état d'astre obscur ou de soleil éteint.

Telle est l'inévitable évolution qui l'attend. Quand il sera parvenu à ce degré d'affaiblissement, il y aura longtemps sans doute que notre planète, ne recevant plus qu'une chaleur et une lumière insuffisantes pour entretenir à sa surface la vie végétale et animale, ne sera plus qu'un corps inerte, et un cadavre de planète; la fin de notre monde sera un événement accompli.

En disant plus haut qu'un tel événement est prochain, il est bien entendu que cette proximité est toute relative et doit se calculer, si toutefois un pareil calcul était possible, comme toutes les durées des existences sidérales. Peut-être, est-ce par millions d'années, de sorte que, tout compte fait, l'humanité actuelle n'est intéressée que très platoniquement à la catastrophe finale. L'histoire n'a

gardé le souvenir que des cinquante à soixante derniers siècles, laissant dans l'ombre un passé qui n'est peut-être pas moindre que quelque cent mille ans. Ce serait donc, comparativement, un long avenir qui se trouverait réservé à notre race pour l'accomplissement de ses destinées.

D'ailleurs, tout fait croire que les choses se passeront graduellement et que nous arriverons tous à la fin dernière, animaux et hommes, sans nous en douter pour ainsi dire, par une diminution et une disparition successive des conditions nécessaires à la vie. Essayons de nous rendre compte de la série de phénomènes qui résulteraient, pour les habitants de la Terre, de la diminution progressive de l'activité solaire : moindre chaleur, plus faible lumière, décroissance d'activité chimique.

D'une façon générale, ce serait l'appauvrissement des flores, qui de l'équateur aux pôles, reculeraient toutes indéfiniment. La flore des tropiques serait remplacée par celle des zones tempérées et celle-ci par les flores des régions polaires. Même rétrogra-

dation pour le monde animal. Peu à peu, le nombre des espèces s'amoindrirait, par le fait d'une disparition qui, très vraisemblablement, attaquerait d'abord les plus avancées en organisation, les plus exigeantes au point de vue de la nutrition.

Quant à l'homme, on peut prévoir que, muni de toutes les ressources de la civilisation et de la science, il s'efforcera de réagir, de combattre les forces destructives. Mais comment résister à une loi implacable qui lui refusera de plus en plus les éléments de la vie. Instinctivement d'ailleurs, il se trouvera amené à abandonner les zones les plus favorables jusqu'ici à sa multiplication, et l'on assistera à l'exode des peuples vers les régions tropicales où, aujourd'hui, l'exhubérance de la chaleur ne rend l'existence possible qu'aux races inférieures.

Mais, à la fin, les pays équatoriaux eux-mêmes ne seront pas plus favorisés qu'aujourd'hui les pays voisins du pôle. Quelques rares survivants, végétaux, animaux, hommes peut-être, représenteront toute la vie qui subsistera à la surface de la planète. Les

océans envahis par les banquises, les continents par les glaciers, la Terre entière sera le règne du silence, de la désolation, de la mort.

Ce que je dis ici de notre planète s'appliquera à toutes les planètes du monde solaire, les plus éloignées du foyer ressentiront sans doute les premières les effets de l'extinction progressive de ses radiations. Les plus rapprochées, comme Vénus et Mercure, périront les dernières. Puis tout sera dit : au monde actuellement vivant succédera une agglomération de corps obscurs circulant comme auparavant autour d'une masse obscure elle-même, ou du moins ne recevant d'autre lumière que celle des innombrables étoiles du monde sidéral.

En traçant ce tableau des phénomènes que la suite des temps doit amener dans l'ensemble des corps constituant notre système planétaire, je n'ai fait que tirer les conséquences de deux principes qui dominent aujourd'hui toute la science, celui de la conservation de la force dans l'ensemble de l'Univers et celui de la dissipation de l'éner-

gie dans une région limitée de l'espace. J'ai supposé qu'aucune cause extérieure ne viendrait compenser la dépense occasionnée par la radiation solaire. Cette radiation doit donc diminuer d'intensité et finir par s'éteindre. C'est ainsi que se terminera l'existence du Soleil considéré comme une étoile. A la vérité, il ne serait pas impossible que la fin de notre monde fût précipitée par une cause imprévue, une catastrophe analogue par exemple à celle dont une étoile de la Couronne, comme nous l'avons dit déjà, a été le théâtre. Une subite conflagration a porté en quelques semaines cette étoile de la neuvième à la seconde grandeur. L'analyse de sa lumière, faite par M. W. Huggins, a prouvé que cet astre s'était trouvé enveloppé par une masse d'hydrogène en combustion. Au bout de quelque temps, cette énorme augmentation d'éclat a peu à peu diminué et l'étoile est redescendue à son état primitif. Or, imaginons le Soleil envahi de la même manière et songeons à ce que deviendrait notre Terre, si la chaleur solaire se trouvait tout à coup décuplée et cela pendant un ou deux mois

seulement. N'est-il pas certain que rien de ce qui a vie sur la planète, ne résisterait à pareilles conflagrations? Plus tard sans doute, la vie pourrait renaître, mais à coup sûr, l'anéantissement, la fin du monde actuel, qui seule nous intéresse, se trouverait réalisée. Notons seulement que des événements de ce genre sont, dans le ciel que nous observons, d'une rareté excessive.

§ 2. — L'âge relatif du Soleil, de la Terre et des planètes.

Nous venons de jeter un coup d'œil sur l'avenir lointain de notre monde planétaire. Essayons maintenant de remonter dans le passé.

Dans l'état actuel des choses, notre système est formé de trois groupes de planètes, ainsi rangées dans l'ordre de leurs distances croissantes au Soleil. Le premier groupe comprend quatre planètes, Mercure, Vénus, la Terre et Mars, dont les dimensions et les masses sont intermédiaires entre celles des individus composant les deux autres groupes:

ce sont les *planètes moyennes*. Le second groupe, celui des *petites planètes*, renferme plus de trois cents individus et, comme on en découvre chaque année de nouvelles, il est très probable que leur nombre atteint plusieurs milliers. Au delà des petites planètes, circule le groupe des *quatre grosses planètes*, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Laissant de côté pour le moment les comètes, qui ne paraissent pas avoir avec les planètes une origine commune, voyons s'il est possible, dans l'état actuel des connaissances astronomiques, d'avoir quelques notions sur leur âge.

Il faut, pour cela, nous reporter à leur mode de formation, après l'époque où la nébuleuse solaire avait achevé de se condenser en un noyau lumineux ; malgré cette condensation, le Soleil était encore enveloppé d'une atmosphère de vapeurs qui s'étendait jusqu'au point où la force centrifuge due au mouvement de rotation balançait la pesanteur. Par le refroidissement de ces vapeurs et leur condensation, ce point limite se rapprochant toujours du centre, des zones de vapeur

se sont trouvées abandonnées successivement dans le plan de l'équateur solaire, en restant d'ailleurs animées du mouvement qui les entraînait auparavant.

On sait que c'est à ces abandons successifs des zones de vapeurs qui appartenaient primitivement à l'atmosphère du Soleil, que sont dues les planètes du système et ultérieurement leurs satellites. La théorie cosmogonique esquissée par Laplace et admise aujourd'hui, sauf quelques modifications, dans la science, rend ainsi compte du sens des mouvements de translation et de rotation, de la faible inclinaison et de la faible excentricité des orbites. Or, elle suffit pour montrer quel a dû être l'ordre de formation des planètes, et leur ancienneté relative.

Des planètes connues, Neptune est donc la plus ancienne : c'est le premier-né du Soleil ; puis vinrent successivement Uranus, Saturne et Jupiter ; les petites planètes. Après, toujours suivant l'ordre décroissant des distances, Mars, la Terre, Vénus et Mercure. On voit que nous sommes ainsi relativement nouveaux dans notre monde solaire.

Quant à l'évaluation des âges, à la possibilité d'indiquer un nombre même largement approché qui donne ces âges en révolutions de la Terre, en années, on comprend que cela n'est point possible. Si l'on admettait l'un des chiffres de Thomson, cinq cents millions d'années comme limite du temps écoulé depuis la condensation de notre nébuleuse, on pourrait le considérer aussi comme s'appliquant à la date de la formation de Neptune. Mais peut-être la dernière par la distance et la première en date des planètes est-elle beaucoup plus vieille que ne le marque ce nombre hypothétique de cinq millions de siècles. Qu'est-ce d'ailleurs que tout cela au regard de l'infini du temps passé !

A voir les deux groupes extrêmes, grosses planètes et planètes moyennes, que séparent si curieusement les centaines de planéticules qui se meuvent entre les orbites de Mars et de Jupiter, il semble qu'il y ait eu là deux phases bien distinctes dans l'acte générateur des planètes. Ce qui donne de la vraisemblance à cette hypothèse, ce sont les analogies caractérisant les éléments de chaque

groupe, et les différences non moins tranchées qu'accusent ces mêmes éléments d'un groupe à l'autre. Les volumes et les masses des grosses planètes sont du même ordre de grandeur et sont considérables, si on les compare aux masses et aux volumes des planètes moyennes. L'inverse a lieu pour les densités, ce qui s'explique aisément si l'on songe que les vapeurs dont la condensation a donné naissance aux planètes les plus éloignées devaient avoir une moindre densité à mesure que croissaient leurs distances au Soleil. Les grosses planètes sont animées de rapides mouvements de rotation; les moyennes au contraire tournent beaucoup moins vite sur leurs axes.

Quant à l'anneau de petites planètes, intermédiaire entre les deux groupes extrêmes, sa formation semble s'être effectuée dans des conditions spéciales et tout autres. Quand les trois ou quatre premiers individus furent découverts, la quasi intersection des orbites fit croire que c'étaient les débris d'une planète unique : la suite fit bientôt reconnaître que l'hypothèse n'était pas fondée. Toute-

fois, il paraît certain que ces milliers de corps accumulés dans une région de largeur restreinte, se sont formés aux dépens de la même zone vaporeuse. Des conditions particulières, peut-être l'influence perturbatrice de la masse de Jupiter, ont empêché la condensation de cette zone en une planète unique.

Les planètes ont-elles passé par les mêmes phases de formation que le Soleil? Toutes proportions gardées au point de vue de la grandeur et de la durée des phénomènes, les masses de vapeurs d'où elles sont nées par voie de condensation, ont-elles été autant de noyaux incandescents? On peut répondre affirmativement à cette question pour la Terre, dont le noyau intérieur est encore en fusion, au moins dans une notable partie. Dès lors, il n'y a pas de raison pour refuser le même état physique aux autres planètes. Toutes, dans une phase plus ou moins prolongée de leur existence, auraient brillé comme autant d'étoiles, de sorte que le Soleil vu de l'espace aurait paru alors comme une étoile double, ou même comme

une étoile multiple. Cette hypothèse, très vraisemblable, étant admise comme un fait, on peut se demander depuis quel temps l'incandescence dont nous parlons a cessé. C'est ce qu'ont fait W. Thomson et Tait, tout au moins pour notre planète; ces savants ont calculé quelle devrait être aujourd'hui la distribution de la chaleur interne, si l'on supposait que depuis cent millions d'années le globe terrestre en fusion est en voie de refroidissement; ils ont trouvé que la température devait croître avec la profondeur, dans la proportion d'un degré centigrade par 90 pieds anglais ($27^{m},5$). Or tel est pré-précisément le chiffre moyen donné par les recherches expérimentales. « Lorsque nous considérons, dit William Thomson, l'état de la température souterraine, nous sommes conduits par toute espèce de considérations à conclure que l'état actuel des choses sur la Terre, la vie que nous y voyons, toute la série géologique dont nous considérons le développement, doivent être limités à une période d'une centaine de millions d'années. »

Cela nous donne une idée de l'âge de la Terre, du temps écoulé depuis qu'elle a cessé d'être incandescente, ou, si l'on veut, de briller comme une étoile, pour passer à l'état d'astre obscur. Mais nous n'en pouvons rien conclure de la durée des périodes antérieures pendant lesquelles la zone nébuleuse qui l'a formée, s'est condensée, puis liquéfiée sous la forme d'un sphéroïde animé d'un mouvement de rotation dont la vitesse a dû diminuer à mesure que le refroidissement contractait son volume.

Par voie d'analogie, on peut étendre à toutes les planètes, les conclusions précédentes au moins dans leur généralité ; car, pour ce qui regarde les durées des phases de leur formation, il est probable qu'on trouverait des nombres différents d'une planète à l'autre, s'il était possible de recueillir des données analogues à celles qui sont entrées comme éléments du calcul dans les nombres établis par les savants anglais. Malheureusement ces données manquent, et sans doute nous feront toujours défaut.

IX

LES ANNEAUX DE SATURNE.

---

§ 1. — Découverte et description des anneaux saturniens.

Quel monde étrange que celui de Saturne, entouré de son triple anneau et de ses huit satellites !

Figurez-vous un globe énorme, capable de contenir 750 globes égaux en volume à celui de notre Terre, tournant sur son axe en un peu plus de dix heures. Une pareille vitesse de rotation développe à l'équateur une force centrifuge considérable, qui explique le fort aplatissement des pôles : la matière dont Saturne est composé, qui, dans le cas du repos, eût été disposée sous la forme

d'une sphère, refoulée en un bourrelet épais à l'équateur et dans les régions voisines de l'équateur, sous l'action de la force centrifuge, a laissé à chaque pôle une dépression que l'observateur distingue au premier coup d'œil, avant toute mesure comparative des diamètres, équatorial et polaire. C'est là du reste un témoignage de l'état fluide où Saturne s'est trouvé à l'époque de la formation de son globe, et rien ne prouve qu'actuellement cette fluidité n'existe pas encore.

Une particularité curieuse, c'est l'irrégularité de forme du disque. Dès le siècle dernier, W. Herschel constatait ce fait, que le plus grand diamètre n'est pas le diamètre équatorial, comme cela devrait être si Saturne avait la forme d'un ellipsoïde de révolution ; le diamètre maximum est celui qui aboutit à une latitude d'environ 45°, de sorte que le disque a l'aspect d'une sorte de quadrilatère curviligne. Le célèbre astronome attribuait cette anomalie à l'attraction de l'anneau, mais Bessel a établi que cette influence ne saurait expliquer la forme révélée par les observations. Cependant il n'y a

pas de doute que l'inégalité constatée est réelle; elle apparaît avec évidence dans la belle série de dessins de Saturne qu'a publiés l'astronome américain G. P. Bond. Il reste à savoir quelle cause physique l'a produite.

Il semble donc que Saturne soit un globe grossièrement ébauché.

En revanche, il offre une merveille unique jusqu'à présent dans les curiosités du ciel. Je veux parler du système de ses anneaux, de ce ruban mystérieux dont la triple lumière, grisâtre, blanche, puis transparente et vaporeuse, entoure le globe de Saturne à distance, tournant en même temps que lui et sensiblement autour du même axe, avec une vitesse à peu près égale à celle de la rotation saturnienne, qu'elle surpasse de quelques minutes seulement.

On connaît la bizarre histoire de la découverte des anneaux de Saturne.

C'était à l'aurore de l'invention des lunettes et des télescopes, et de leur application aux observations astronomiques. Galilée venait de braquer le nouvel instrument, bien peu puissant encore, sur les étoiles, le

Soleil, la Lune et les planètes. Le monde des savants était dans l'enthousiasme des premiers résultats : le ciel agrandi, la Voie Lactée se réduisant en une poussière d'étoiles, Vénus et ses phases, le Soleil avec ses taches, la Lune avec ses montagnes, toutes ces nouveautés qui révolutionnaient les idées anciennes sur l'Univers, avaient prédisposé les esprits aux découvertes les plus inattendues.

L'étonnement fut grand toutefois, quand Galilée annonça que la planète Saturne, la plus éloignée dans le monde solaire alors connu, paraissait triple au foyer de sa lunette. Dans une lettre que le grand astronome écrivait à Julien de Médicis, le 13 novembre 1610, il faisait part à ce dernier de la singulière découverte qu'il avait faite dans le courant de l'été de la même année. Voici en quels termes : « Quand j'observe Saturne avec une lunette d'un pouvoir grossissant de plus de trente fois, l'étoile centrale paraît la plus grande ; les deux autres, situées l'une à l'orient, l'autre à l'occident, et sur une ligne qui ne coïncide pas avec la direction du zodiaque, semblent la toucher. Ce sont comme

deux serviteurs qui aident le vieux Saturne à faire son chemin et restent toujours à ses côtés. Avec une lunette de moindre grossissement, l'étoile paraît allongée et de la forme d'une olive. »

Galilée poursuivit ses observations; il vit avec surprise que les deux étoiles latérales s'affaiblissaient peu à peu; en novembre 1612 elles disparurent et il considéra ses observations antérieures comme dues à des illusions d'optique : il ne s'occupa plus de Saturne. D'autres observateurs revirent les mêmes phénomènes, mais si peu distinctement qu'ils ne purent en déterminer la nature, de sorte que c'est à vrai dire Huygens qui découvrit les anneaux de Saturne, en 1655, c'est-à-dire 45 ans après les premières observations de Galilée.

C'est Huygens en effet qui, le premier, donna la véritable explication des apparences singulières sous lesquelles Saturne s'était montré à Galilée et aux astronomes ultérieurs. Il avait lui-même construit le télescope qui lui révéla l'existence d'un anneau mince entourant la planète à distance. Cet appendice

de forme circulaire se montrait plus ou moins ouvert selon l'époque, la position relative de Saturne et de la Terre, en un mot selon les règles de la perspective. Sa disparition momentanée s'expliquait avec la même facilité, soit quand le plan de l'anneau, se mouvant parallèlement à mesure que Saturne lui-même se mouvait sur son orbite, venait à passer par le Soleil, soit quand le même plan rencontrait la Terre. Dans le premier cas, l'anneau n'étant plus éclairé que par sa tranche devenait invisible; dans le second cas, sa disparition était due à ce que l'observateur ne pouvait voir que cette tranche elle-même, trop déliée pour être distinguée à l'aide des premiers télescopes.

A mesure que les instruments se perfec-fectionnèrent, et que les études du merveilleux appendice se multiplièrent, tous les détails de sa structure se firent peu à peu connaître. On reconnut d'abord que l'anneau était double, l'anneau extérieur moins large et moins brillant que l'anneau intérieur, avait une teinte grisâtre, à peu près semblable à celle du globe de la planète; l'autre, d'une

blancheur qui décroît à mesure que l'on considère des parties plus voisines de Saturne, est séparé du premier par un espace étroit, une ligne noire qui laisse voir le ciel dans l'intervalle.

Depuis, un troisième anneau, mais obscur ou plutôt transparent, puisque le globe de la planète se distingue au travers, a été reconnu : c'est le plus rapproché de Saturne. Puis des divisions nouvelles ont laissé soupçonner que ces trois anneaux concentriques se partagent eux-mêmes en divers anneaux distincts : Bond n'en a pas compté moins de trois sur l'anneau extérieur qui se composerait ainsi de quatre anneaux contigus.

On a mesuré avec soin, avec une précision minutieuse, toutes les parties de ce singulier appendice, en diamètre, en largeur, en épaisseur. On a relevé toutes les particularités de sa structure, pendant toute la durée des phases sous lesquelles il se montre à la Terre.

§ 2. — Équilibre des anneaux.

Le mobile de toutes ces recherches n'était

pas seulement la curiosité : il s'agissait surtout de savoir quelle était la nature physique des anneaux saturniens, s'ils étaient animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes, comme semblait le nécessiter l'état d'équilibre qui les suspend ainsi dans le ciel de Saturne, sans le secours d'aucun support. Forment-ils une masse continue, solide ou liquide ; sont-ils d'une constitution gazeuse ou vaporeuse, ou enfin ne doit-on y voir que l'ensemble d'une multitude de corpuscules indépendants, circulant comme autant de satellites distincts autour de la planète ?

Toutes ces hypothèses ont été proposées, et l'on peut voir au simple énoncé, qu'elles ont pour objet la solution d'un problème intéressant de mécanique céleste et aussi d'astronomie physique.

Voici ce que Laplace dit sur ce sujet dans l'*Exposition du système du monde* :

« Par quel mécanisme ces anneaux se soutiennent-ils autour de cette planète? Il n'est pas probable que ce soit par la simple adhérence de leurs molécules ; car alors, leurs parties voisines de Saturne, sollicitées par

l'action toujours renaissante de la pesanteur se seraient à la longue détachées des anneaux qui, par une dégradation insensible, auraient fini par se détruire, ainsi que tous les ouvrages de la nature, qui n'ont point eu les forces suffisantes pour résister à l'action des causes étrangères. Ces anneaux se maintiennent donc sans effort et par les seules lois de l'équilibre; mais il faut pour cela leur supposer un mouvement de rotation autour d'un axe perpendiculaire à leur plan, et passant par le centre de Saturne, afin que leur pesanteur vers la planète soit balancée par leur force centrifuge due à ce mouvement.

« Imaginons un fluide homogène, répandu en forme d'anneau, autour de Saturne; et voyons quelle doit être sa figure, pour qu'il soit en équilibre, en vertu de l'attraction mutuelle de ses molécules, de leur pesanteur vers Saturne et de leur force centrifuge. Si, par le centre de la planète, on fait passer un plan perpendiculaire à la surface de l'anneau, la section de l'anneau par ce plan est ce que je nomme *courbe génératrice*. L'analyse fait voir que si la largeur de l'anneau est peu

considérable par rapport à sa distance au centre de Saturne, l'équilibre du fluide est possible, quand la courbe génératrice est une ellipse dont le grand axe est dirigé vers le centre de la planète. La durée de la rotation de l'anneau est à peu près la même que celle de la révolution d'un satellite mû circulairement à la distance du centre de l'ellipse génératrice, et cette durée est d'environ 4 heures 1/3 pour l'anneau intérieur (1). Herschel a confirmé par l'observation ce résultat auquel j'avais été conduit par la théorie de la pesanteur. »

Laplace ajoute que l'équilibre subsisterait encore si l'on supposait à l'anneau des largeurs inégales dans ses diverses parties ; on peut même le supposer à double courbure. Ces inégalités s'accorderaient d'ailleurs avec les observations : aux époques d'apparition et de disparition de l'anneau, on a remarqué que les deux bras présentaient des phénomènes différents ; de telles irrégularités, loin

(1) Soit 0,433 en parties décimales du jour ou 10 heures 12 minutes sexagésimales.

de nuire à la stabilité « sont même nécessaires pour maintenir l'anneau en équilibre autour de la planète; car s'il était parfaitement semblable dans toutes ses parties, son équilibre serait troublé par la force la plus légère, telle que l'attraction d'un satellite, et l'anneau finirait par se précipiter sur la planète ».

Laplace suppose que l'anneau en chacune de ses parties forme un tout continu, cohérent, qu'en un mot son état physique est celui d'un solide se mouvant tout d'une pièce autour de Saturne. Une telle constitution est-elle possible? C'est là un problème dont l'étude a été reprise, dans ces derniers temps, en s'aidant de toutes les ressources que les progrès de la mécanique et de la physique ont apporté à l'examen des questions de ce genre.

Un de nos savants et regrettés compatriotes, M. Hirn, a prouvé que les conditions de stabilité posées par Laplace, l'existence d'inégalités (ou d'un lest) et le mouvemen de rotation, nécessaires dans l'hypothèse de l'état solide des anneaux, sont d'ailleurs insuffisantes pour en assurer la durée. Des

anneaux solides ne pourraient, sans danger de désagrégation et de rupture, avoir chacun qu'une très faible largeur; il faudrait donc admettre que ceux qu'on observe sont en réalité formés d'une multitude d'anneaux concentriques, emboîtés les uns dans les autres et animés chacun d'une vitesse de rotation particulière (1). Mais alors même, il faudrait supposer que la matière constituant ces anneaux est douée d'une rigidité et d'une cohésion presque infinie, c'est-à-dire se placer en dehors de toutes les propriétés connues des corps.

(1) « L'une des raisons de l'impossibilité de l'existence d'un anneau solide d'une pièce et d'une certaine largeur, repose sur ce fait : que, dans un tel anneau, la vitesse angulaire étant partout la même, la force centrifuge est proportionnelle aux rayons, tandis que l'attraction de la planète reste proportionnelle à la raison inverse du carré de ces rayons; il ne peut donc exister qu'une seule nappe cylindrique où il y ait équilibre entre la force centrifuge et la somme de toutes les attractions qui tendent à faire tomber les molécules vers ♄ (Saturne). La cohésion et l'attraction réciproque des parties peuvent seules, par conséquent, empêcher la rupture de l'anneau sur tout son pourtour. » (*Mémoire sur les conditions d'équilibre et la nature probable des anneaux de Saturne*, par G.-A. Hirn.

Hirn examina ensuite l'hypothèse où les anneaux restant continus, sont fluides, c'est-à-dire liquides ou gazeux : cette hypothèse est d'autant plus naturelle que, selon toutes probabilités, tel a été l'état primitif des anneaux. Dans ce cas, la mobilité des molécules permet, aux différentes nappes cylindriques constituant l'anneau, des vitesses variables, de telle sorte que partout la force centrifuge fasse équilibre à l'attraction de la planète, et dès lors, il semble que l'équilibre et la stabilité du système se trouveraient assurés. Mais, ce ne pourrait être pour longtemps.

En effet, l'inégalité de vitesse des nappes cylindriques donnera lieu, quelque fluidité qu'on suppose à l'anneau, à des frottements tendant à égaliser les vitesses des molécules. Au bout d'un temps plus ou moins court, cette tendance se réaliserait effectivement, mais alors à la perte de force vive qui en résulterait correspondrait nécessairement une élévation de température de l'anneau. Que ce dernier soit gazeux ou liquide, le même phénomène se produira sous une forme ou une autre, et il en résultera une diminution

du mouvement, par suite un rapprochement de toutes ses parties du globe de Saturne.

« Si les anneaux sont gazeux ou même liquides, conclut M. Hirn, leur sort inévitable sera, non pas du tout de tomber d'un côté sur la planète, et de s'en écarter de l'autre, mais de s'en rapprocher lentement dans toutes les directions et de finir par se confondre avec elle.

« Nous voici amenés de nouveau en face d'un événement des plus redoutables, en apparence du moins, pour l'existence d'un monde. Il ne s'agit plus, il est vrai, de ce cataclysme subit dont nous croyions Saturne menacé par suite de la chute, ou même seulement par l'écroulement de ses anneaux supposés solides. Il s'agit d'un de ces phénomènes à marche graduée, relativement lente mais certaine, comme c'est le caractère à peu près général des grands phénomènes de la nature. Mais il n'en est pas moins vrai que les conséquences d'un tel événement pourraient être terribles pour les habitants de la planète. Les anneaux, en effet, ne fussent-ils constitués que par un gaz semblable à celui

de l'atmosphère, ou d'un liquide semblable à celui des mers, l'adjonction d'une nouvelle masse atmosphérique à l'ancienne, d'une nouvelle masse liquide aux mers déjà existantes, n'en serait pas moins un fait capital quant à l'existence des êtres vivants.

Du reste, dans l'opinion de M. Hirn, un tel événement, bien qu'il doive s'accomplir peu à peu, ne serait pourtant pas un de ces phénomènes astronomiques à longue échéance, comme la chute possible de la comète d'Encke sur le Soleil. « Des variations de densité ou de dimensions de plus d'un centième s'effectuant de cinq en cinq heures dans les deux moitiés opposées des anneaux, supposent une telle dépense continue de force vive à réparer sans cesse aussi par la marche graduée de toutes les molécules vers le centre de gravité de la planète, que ce n'est pas par siècles, mais par années, par mois, qu'il faudrait compter ce qui reste d'existence à chacun des anneaux. » Or leur persistance, depuis l'époque de leur découverte par Huygens, montre assez qu'il n'y a pas à craindre une

disparition aussi rapide de ces appendices : ce serait déjà un fait accompli.

La conséquence à tirer de là, d'après le savant physicien, c'est que les anneaux ne sont pas plus liquides et gazeux qu'ils ne sont une masse solide continue. Quelle est donc en définitive la structure des anneaux saturniens? « Elle est des plus faciles à déterminer, dit-il, car c'est la seule naturelle et possible. Au lieu de supposer sans motifs un état solide continu qui ne comporterait pas même une centaine de révolutions des anneaux sur leur centre, admettons de suite qu'ils sont formés de matière à l'état solide, mais *discontinu, désagrégé*, de parties très petites séparées par des intervalles relativements très grands, aussi vides de matière que l'est tout le reste des espaces stellaires ; admettons qu'à un moment donné toutes ces parcelles matérielles aient eu une vitesse et une direction telles que la force centrifuge ait fait à fort peu près équilibre à l'attraction de la planète. » M. Hirn examine alors un à un les phénomènes que doit présenter un anneau ainsi constitué, et il montre que ces

phénomènes répondent rigoureusement d'une part aux données de la mécanique rationnelle, d'autre part aux données les plus récentes de l'observation.

Et d'abord l'aspect de l'anneau vu à distance sera bien celui d'une nappe lumineuse continue : n'y eût-il par mètre cube qu'une parcelle solide de quelques millimètres, la somme des lumières ainsi réfléchies produira l'effet d'un ensemble solide éclairé par le Soleil. Chaque parcelle décrivant autour du centre de gravité de Saturne une orbite elliptique indépendante, c'est l'ensemble de toutes ces orbites qui détermine la forme apparente de l'anneau.

Par cela même que, par leur nombre incalculable, les parcelles solides nous renvoient une masse de lumière qui donne à l'ensemble l'aspect d'une surface lumineuse continue, elles interceptent la lumière solaire qui, sans elles, irait frapper et illuminer la surface de Saturne. Ainsi s'explique tout naturellement l'ombre que projette l'anneau sur la planète. La faible épaisseur des anneaux, les inégalités de lumière qui ont permis à

W. Herschel de déterminer la durée de la rotation, les changements constatés par Struve dans la largeur des anneaux, la diaphanéité de l'anneau intérieur, sont autant de phénomènes qui s'expliquent tout naturellement dans l'hypothèse d'une matière discontinue. D'un autre côté, la conservation des appendices n'est plus sujette aux objections qui ne permettent pas d'admettre que les anneaux de Saturne soient constitués par des masses continues, solides, liquides ou gazeuses.

L'exposé qu'on vient de lire des idées du savant physicien et ingénieur, sur la constitution des anneaux saturniens, ne fait que résumer ses conclusions en indiquant quelques-unes des raisons invoquées à l'appui. Je renvoie au mémoire original ceux de mes lecteurs qui désireraient connaître la démonstration analytique et rigoureuse. D'ailleurs, tout en estimant que la constitution interne actuelle des anneaux est vraisemblablement conforme à son hypothèse, M. Hirn, avec une réserve qui l'honore, ajoute que « c'est à l'observation seule à changer la probabilité

en certitude. La détermination rigoureuse, dit-il, des durées de la rotation du bord externe et du bord interne de l'un des anneaux, si quelques inégalités de couleur ou d'éclat le permettent, conduira rapidement au but. Si ces durées sont égales, il sera prouvé que cet anneau est encore aujourd'hui gazeux ou liquide. Si elles sont inégales, si celle du bord interne est moindre que celle du bord externe, il sera tout aussi bien prouvé que cet anneau est formé de parties solides disjointes et très éloignées les unes des autres. »

L'idée fondamentale qui fait des anneaux de Saturne un assemblage de corpuscules indépendants n'est pas nouvelle. Dionis du Séjour, au siècle dernier, l'attribuait à Cassini (Domin.). Voici un passage des *Éléments d'Astronomie* de Cassini II, où l'hypothèse est nettement formulée : « Cette apparence, dont nous ne voyons aucun exemple dans les autres corps célestes, nous a donné lieu de conjecturer que ce pouvoit être un amas de satellites, tous disposés à peu près sur un même plan, lesquels font leurs révo-

lutions autour de cette planète : que leur grandeur est si petite, qu'on ne peut les apercevoir séparément, mais qu'ils sont en même temps assez près l'un de l'autre pour qu'on ne puisse point distinguer les intervalles qui sont entre eux, en sorte qu'ils paroissent former un corps continu. »

Il n'y avait là qu'une conjecture, et c'est de nos jours seulement que, sous le flambeau de l'analyse et en s'appuyant sur une branche toute nouvelle de la mécanique physique, la thermodynamique, la théorie pouvait prendre un corps. Un savant anglais d'un grand mérite, M. Clerk Maxwel, est arrivé de son côté à des conclusions qui ont une grande analogie avec celle de Hirn ; voici en quels termes il résumait, dès 1859, ses recherches sur cette question épineuse : « Le résultat final de cette théorie mécanique est que le seul système d'anneaux qui puisse exister doit être composé d'un nombre indéfini de particules indépendantes, tournant autour de la planète avec des vitesses différentes, selon leurs distances respectives. Ces particules peuvent être rangées en séries

d'anneaux étroits, ou bien elles peuvent se mouvoir à travers leur ensemble d'une manière irrégulière. Dans le premier cas, la destruction sera extrêmement lente ; dans le second, elle sera plus rapide ; mais il pourrait se produire une tendance vers un arrangement qui retarderait le progrès de la destruction (1). »

Enfin, M. E. Roche, dans son beau Mémoire *sur la Constitution et l'origine du système solaire*, arrivait aux mêmes conclusions par une voie différente, en prouvant l'impossibilité de l'existence permanente d'un satellite à la place de l'anneau. « Si par impossible, dit-il, ce satellite a existé, il s'est dissous immédiatement en parcelles séparées par des intervalles plus ou moins grands, mais probablement d'un ordre supérieur à leurs dimensions. Au lieu d'un corps continu, ce n'est plus qu'un nuage, un tourbillon de poussière ; mais l'apparence est toujours celle d'un véritable anneau. »

(1) *Monthly Notices*, t. XIX.

§ 3. — Origine des anneaux de Saturne.

S'il est intéressant de connaître la constitution actuelle des anneaux de Saturne, il ne l'est pas moins de se demander comment ils ont pris naissance.

On sait que Laplace considérait leur existence comme un témoignage toujours subsistant de l'extension primitive de l'atmosphère de Saturne et de ses retraites successives ; phénomène en tout point semblable à l'abandon des zones de vapeurs détachées de l'atmosphère du Soleil, qui ont fini par donner naissance aux planètes.

Cette question d'origine a été reprise par les savants cités plus haut, MM. Hirn et Roche. Voici comment M. Hirn l'a résolue et quelle explication il propose de la formation des anneaux :

Il se reporte en pensée non à la nébuleuse primitive d'où le Soleil et le système des planètes a pris naissance, selon l'hypothèse de Laplace, mais à l'époque beaucoup plus rapprochée où les noyaux partiels, destinés à devenir des planètes, avaient pris eux-mêmes

une forme distincte, quoique maintenus en grande partie encore à l'état de vapeur. En raison de leur immense volume et de la grande distance, par conséquent, de leurs parties extérieures au centre de gravité commun, ces amas vaporeux affectant la forme d'ellipsoïdes très aplatis, ont à la longue, par suite du refroidissement, laissé échapper des anneaux à leurs limites extérieures, anneaux qui ont plus tard formé les satellites des planètes. D'autres, comme ceux de Saturne, ont subsisté; ce qu'il importe de savoir, c'est la raison de ces différences : Pourquoi tantôt s'est-il formé un satellite, tantôt — cas du reste beaucoup plus rare — un anneau a-t-il persisté? Selon M. Hirn, cela a dépendu à la fois des propriétés physiques et de la nature chimique de leurs parties constituantes. Citons textuellement :

« 1° Il a dû se former un satellite, lorsqu'un de ces anneaux distincts, ou un segment d'anneau, avait dans sa totalité une nature chimique extrêmement complexe, lorsqu'il était formé du mélange des vapeurs d'un grand nombre d'éléments différents.

comme ce serait le cas si, par exemple, la Terre, la Lune étaient réduites en vapeur. Le refroidissement a déterminé, dans ce cas, la production d'un mélange hétérogène de combinaisons définies, les unes gazeuses, d'autres liquides et pâteuses, d'autres solides. Un pareil anneau a dû se rompre, et puis ses parties, en obéissant à leurs attractions réciproques, ont pu se réunir en sphéroïdes distincts.

« 2° Mais supposons un anneau formé de ces gaz que nous avons longtemps crus permanents, et de vapeurs se condensant à des températures relativement basses et se réduisant alors en liquides très fluides. Prenons comme exemple particulier ce qui a pu être la vérité quant à notre Terre ; supposons un anneau formé d'air atmosphérique et de vapeur d'eau. Cet anneau sera d'abord, et pendant longtemps, tout à fait gazeux ; puis, à mesure que sa température s'abaissera, il s'y condensera de plus en plus d'eau sous forme de brouillard ; mais son sort inévitable sera celui que nous avons reconuu plus haut ; par suite des frottements et des chocs con-

tinus qui ont lieu dans ses parties, il perdra peu à peu sa vitesse, se rapprochera de plus en plus de la planète, et finira par se confondre avec ses parties constituantes. Il se peut très bien, disons même, il est très probable que notre Terre (et les autres planètes) aient été, pendant un temps très long, privées d'atmosphère et de mers, et que celles-ci ne se soient réunies à la masse centrale qu'après un refroidissement déjà fort notable de tout l'ensemble.

« 3° Enfin supposons que l'anneau, d'une nature chimique encore plus simple, soit formé du mélange d'un gaz permanent en grand excès et d'une vapeur susceptible de se condenser en un liquide dont le point de congélation ne soit pas très éloigné du point d'ébullition, sous la pression, en tous cas très faible, à laquelle il était soumis. Que se passera-t-il, quant à cet anneau dans son ensemble?

« Il est évident qu'à un certain terme du refroidissement il sera constitué par une sorte de mélange de gaz en excès, et de gouttes d'abord liquides, puis solides, sé-

parées les unes des autres par des intervalles d'autant plus grands, que la vapeur aura été en moindre quantité par rapport au gaz.

« La partie gazeuse de cet anneau se trouvera dans les conditions de mobilité interne dont nous avons parlé, les parties solides et disjointes se trouveront déjà *à peu près* dans les conditions requises pour constituer un anneau durable. Les deux corps distincts et mêlés formeront d'abord ensemble un anneau unique tournant autour de la planète centrale ; mais les molécules gazeuses sont ici, pour ainsi dire, tout à fait libres et indépendantes par rapport aux parties solides qui se trouvent désormais dans la masse ; pendant leur révolution rapide autour du centre de gravité de l'ensemble, elles subiront les changements de vitesse, de direction, auxquelles ne participeront qu'à un très faible degré les particules solides. Peu à peu donc, l'anneau gazeux se contractera dans tout son pourtour et diminuera de plus en plus en diamètre. Ce mouvement moyen et très lent vers le centre commun, ne se communiquera que très partiellement aux parties solides.

Finalement ces dernières, abandonnées complètement par l'anneau gazeux dans le vide des espaces stellaires, suivront des orbites désormais régulières, tandis que l'anneau gazeux se rapprochera de plus en plus de la planète, pour se confondre enfin avec son atmosphère propre.

« Nous arrivons à une solution encore plus simple du problème, en supposant que l'anneau ait été formé par les *vapeurs* de deux corps solides susceptibles de se combiner. Pour prendre un exemple entre mille, j'admettrai un mélange de vapeur de zinc et de vapeur de soufre en grand excès, à une température telle que les corps ne puissent encore se combiner, ou se trouvent à cet état de *dissociation* complète, si bien étudié par M. H. Sainte-Claire Deville, état qui est probablement encore aujourd'hui celui des éléments du Soleil, ainsi que l'établit la belle théorie de M. Faye. Dès que l'abaissement de température aura rendu la combinaison possible, il se produira du sulfure de zinc, d'abord sous forme de brouillard, puis des gouttelettes liquides, puis enfin des gouttelettes

solides éparpillées dans l'excédent de vapeur de soufre qui se condensera et se solidifiera à son tour à l'état de poussière infinitésimale.

« Telle est l'origine très probable et très naturelle des anneaux de Saturne. Leur présence, tout exceptionnelle aujourd'hui, dans notre monde planétaire, dépend de ce fait, que pour que leur formation, et surtout leur durée, devinssent possibles, il fallait que l'anneau primitif fût d'une composition chimique à la fois très simple, mais particulière, capable de donner lieu à des fragments solides, isolés les uns des autres; il fallait, en un mot, qu'il eût une composition exceptionnelle. Les anneaux constitués autrement, au point de vue de leur nature chimique, ont donné naissance aux satellites, ou *ont disparu de la scène du monde.* Peut-être même ces derniers étaient-ils les plus nombreux à l'origine. »

X

MERCURE ET VÉNUS. — LEURS ROTATIONS.

---

§ 1. — Éléments de la Constitution physique des planètes.

La Terre fait partie du groupe des planètes moyennes, au nombre de quatre, qui sont en même temps les plus rapprochées du Soleil, et par conséquent, en vertu de la loi cosmogonique de Laplace, les dernières formées. Mars, plus éloignée, est la plus ancienne; vient ensuite notre planète; Vénus et Mercure sont les plus jeunes de toutes.

Il serait intéressant de savoir s'il y a, entre ces nouveau-nés du Soleil détachés à des reprises différentes, mais relativement voisines, de son atmosphère, une certaine

analogie de constitution. Ce sont d'abord leurs dimensions qui les ont fait distinguer comme formant un groupe à part entre les géants Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, et les planètes minuscules de l'agglomération qui circule entre Jupiter et Mars. Et en effet, tandis que les volumes réunis des quatre planètes moyennes ne dépassent guère 2 fois celui de notre globe, les quatre grosses planètes valent ensemble 2122 fois le même volume, c'est-à-dire, à peu de chose près, mille fois autant que les premières.

Mais la comparaison des masses est loin de conduire à une proportion aussi forte. Les masses des grosses planètes ne valent guère que 220 fois celles des planètes moyennes. Cela est l'indice d'une densité quatre ou cinq fois moindre, élément d'une plus grande importance que les volumes pour la constitution physique de chacun des groupes. Il semble qu'on aurait pu prévoir ce résultat, en se reportant au mode de formation des planètes. Les zones de vapeurs qui constituaient à l'origine les couches successives de la nébuleuse solaire étaient très probable-

ment rangées, à partir de la condensation centrale ou du noyau du Soleil, par ordre de densité décroissante avec la distance; les plus éloignées, les moins denses dès lors, abandonnées les premières ont ainsi formé Neptune, Uranus, Saturne et Jupiter. Les plus voisines du Soleil se sont détachées les dernières, et d'une densité plus grande, elles ont donné naissance aux planètes Mars, la Terre, Vénus et Mercure. Cette remarque, toutefois, ne s'applique qu'à l'ensemble de chacun des deux groupes; elle ne serait plus juste, si l'on comparait les densités de planète à planète.

Deux autres éléments ont une influence considérable sur la constitution physique d'une planète : c'est, d'une part, la somme et l'intensité des radiations solaires à la surface de son globe; de l'autre, la présence ou l'absence d'une atmosphère.

Une loi physique bien connue permet de calculer l'intensité de la radiation solaire pour chaque planète : c'est celle qui fait varier cette intensité en raison inverse du carré de la distance, ou, ce qui revient au même, pro-

portionnellement aux surfaces apparentes du disque du Soleil, vu de chacune des planètes. En représentant par 1000 l'intensité de la radiation solaire quand elle vient tomber sur la Terre aux limites de notre atmosphère à la distance moyenne, on trouve que sur Vénus elle est égale à 1910, un peu moins du double, et sur Mercure à 6670, à peu de chose près sept fois aussi grande. Les deux planètes sont donc, la dernière surtout, beaucoup mieux partagées que la Terre en lumière et en chaleur. Mais on ne doit pas oublier qu'il s'agit là de ce qui se passe aux limites des atmosphères, si ces atmosphères existent, et qu'il n'est pas possible d'en rien conclure pour la surface même du sol, l'absorption par une enveloppe gazeuse pouvant réduire dans une proportion plus ou moins forte, les intensités que nous venons d'indiquer par des nombres. La hauteur de l'atmosphère, la densité de ses couches, sa composition chimique sont autant de données qu'il faudrait connaître pour déterminer la quantité des radiations absorbées. C'est un problème très délicat, qui n'est même pas

entièrement résolu pour notre planète, et qui reste sans solution pour les autres.

Toutefois, en admettant que Vénus et Mercure soient entourés d'atmosphères ayant une constitution voisine de celle de l'atmosphère terrestre, ce qui paraît vraisemblable, on voit tout de suite à quel degré de chaleur doivent être portées les couches voisines du sol, le sol lui-même. Sous l'action intense des rayons solaires, les masses liquides, si les deux planètes ont des mers, doivent subir une évaporation excessive, et la formation d'épais nuages dans les régions où la condensation des vapeurs est déterminée par une température plus basse, en doit être la conséquence. Les auréoles vaporeuses dont plusieurs observateurs ont vu leurs disques entourés pendant les passages de Vénus et de Mercure sur le Soleil, ne sont-elles pas le témoignage de l'existence d'atmosphères très denses, très chargées de vapeurs? Cela paraît tout au moins vraisemblable.

N'est-ce pas là ce qui fait que les astronomes ont tant de peine à discerner sur les disques de ces deux planètes des taches per-

manentes, capables de révéler leur configuration géographique et, en même temps, de mesurer les périodes de leurs mouvements de rotation? Tandis que Mars, dans ses oppositions, apparaît au télescope parsemé de taches, les unes permanentes et délimitées nettement de forme et de dimensions, les autres mobiles, indiquant des vicissitudes atmosphériques ou météorologiques, ce n'est qu'à grand'peine et à de rares intervalles que de semblables accidents ont été entrevus à la surface de Vénus : sur Mercure, jusqu'à ces dernières années, on n'avait rien observé.

Les taches de Mars, suivies pendant deux siècles, ont servi à déterminer avec une grande précision le mouvement de rotation et l'inclinaison de l'axe, ces deux éléments d'une si grande importance pour la climatologie de l'astre. On va voir quelle indécision a régné longtemps — on pourrait dire règne encore — sur la véritable valeur qu'il faut leur assigner pour les deux planètes les plus voisines du Soleil.

Résumons rapidement l'historique des recherches des astronomes sur la période de

rotation de Mercure et de Vénus. Commençons par Vénus.

§ 2. — Rotation de Vénus.

Dominique Cassini fut le premier astronome qui réussit à voir des taches sur le disque de la planète, entre le mois d'octobre 1666 et le mois de juin 1667, soit avant le coucher soit avant le lever du Soleil. Tous les astronomes savent combien il est difficile de distinguer nettement le disque de Vénus, presque toujours plongée dans les brumes de notre atmosphère, ou, quand elle s'élève davantage au-dessus de l'horizon, à l'époque des quadratures, brillant d'un tel éclat que l'œil ne peut observer que confusément les détails du disque. Cassini, par l'observation d'une tache brillante, constata un mouvement soit de révolution soit de libration (il n'ose se prononcer entre les deux hypothèses) dont la période lui semble moindre qu'un jour. Voici, du reste, en quels termes il formule cette conclusion, assez vague comme on va le voir :

« Je puis dire (supposé que cette partie luisante de Vénus que j'ai observée, et particulièrement cette année 1667, ait été la même), qu'en moins d'un jour elle achève son mouvement, soit de révolution, soit de libration, de manière qu'en 23 jours à peu près, elle revient environ à la même situation dans la planète de Vénus, ce qui ne se fait pas néanmoins sans quelque irrégularité. De dire maintenant, supposé que ce soit la même partie luisante, si ce mouvement se fait par une révolution entière, ou seulement par une libration, c'est ce que je n'oserais assurer, parce que je n'ai pas pu voir la continuation de ce mouvement dans une grande partie de l'arc, comme dans les autres planètes, et par cette même raison cela sera toujours très difficile à déterminer. »

Environ soixante ans après D. Cassini, de février 1726 à août 1727, un astronome italien, Bianchini, observa et dessina des taches sur le disque de Vénus. De la comparaison des positions occupées par ces taches à divers intervalles, il crut pouvoir en conclure, pour la période de rotation, une durée

de 24 jours et 8 heures. Mais Jacques Cassini, fils de Dominique, discuta les observations faites par son père en 1666 et 1667 avec celles de Bianchini, et arriva à cette conclusion qu'une période de 23 heures 20 minutes rendait compte à la fois des observations nouvelles et des anciennes, tandis que la période de Bianchini ne pouvait s'accorder avec celles de son père.

Depuis, c'est le dernier chiffre qui a prévalu, c'est celui qu'on a pu lire jusqu'à ces dernières années dans tous les ouvrages d'astronomie. La période de 23 heures 20 minutes environ paraissait d'autant plus certaine que des observations nouvelles de Vénus, les unes dues à Schrœter (1798-1799), les autres à un astronome romain, Vico (1840-1842), vinrent la confirmer. On lui donna même une apparence de précision plus grande, en la fixant à 23 heures 21 minutes 22 secondes (1).

(1) Schrœter n'avait pas, comme ses prédécesseurs, déduit la période de $23^h21^m0^s$ qu'il proposait, de l'observation de taches du disque, brillantes ou obscures, mais d'une troncature de la corne méridionale du croissant de Vénus dont les apparitions et réapparitions lui paru-

Vénus, dont le volume est à peu de chose près égal à celui de la Terre, se trouvait ainsi tourner sur son axe un peu plus rapidement que notre planète, dont la rotation, comme on sait, est égale à 23 heures 56 minutes 4 secondes.

La question en était là, paraissant résolue en faveur d'une courte période de rotation, quand, il y a quinze ans, l'éminent directeur de Brera, près Milan, G. Schiaparelli, résolut de la soumettre à de nouvelles recherches. Il observa Vénus pendant les trois mois compris entre le 5 novembre 1877 et le 7 février 1878, à l'aide d'un excellent réfracteur de 8 pouces. Le 9 décembre notamment, la planète se trouvait très favorablement située, étant alors à sa plus grande élongation orientale. Il aperçut une tache sombre qui s'étendait depuis la corne méridionale dans la direction du nord-ouest ; deux petites taches très brillantes, de forme ovale, sépa-

rent incompatibles avec une rotation lente. Depuis, d'autres observateurs ont noté dans le croissant des irrégularités semblables, sans qu'aucun d'eux ait essayé d'en déduire la période de rotation de Vénus.

rées par une bande sombre, se voyaient près de la pointe sud du croissant. Voici maintenant ce que Schiaparelli constata. Quand on observe Vénus pendant quelques heures de suite, la tache obscure, de même que les taches brillantes, reste immuablement à la position occupée par elle au commencement de l'observation. D'un jour à l'autre, on ne remarque non plus aucun changement. En comparant un dessin fait le 15 décembre, à Washington, par le professeur Holden, 8 heures après le moment où Schiaparelli observait la planète à Brera, au dessin fait par ce dernier, on remarque que les deux observateurs ont placé au même endroit du disque la principale tache brillante. L'astronome milanais conclut de ces faits qu'ils ne peuvent s'accorder ni avec la période de 23 heures, ni avec celle de 24 jours admise par Bianchini. En résumé, l'ensemble de ses observations assigne à la période de rotation de Vénus une durée de six à neuf mois, et il croit pouvoir la fixer à 225 jours, durée de la révolution de Vénus autour du Soleil.

Le résultat des observations de l'astronome

milanais est en si complet désaccord avec ceux des astronomes antérieurs, qu'il était tout à fait important de le soumettre à de nouvelles investigations. C'est le but que s'est proposé le savant directeur de l'Observatoire de Nice, M. Perrotin. Pendant plus de quatre mois et demi, du 15 mai 1890 jusqu'au 4 octobre, il put faire 74 observations de Vénus et 61 dessins. « Une étude attentive de ces dessins, dit-il, et des notes détaillées qui les accompagnent, prouve que l'aspect de la planète ne varie pas sensiblement d'un jour à l'autre, et qu'il reste aussi le même aux diverses heures de la journée. Les modifications que l'on observe le même jour se font sans mouvement, par le seul effet des variations de l'illumination et de l'absorption atmosphériques avec la hauteur de l'astre sur l'horizon. En réalité, les changements ne se produisent qu'avec une extrême lenteur et ne deviennent apparents qu'au bout d'un certain nombre de jours. »

Sur l'un des dessins que notre savant compatriote a joints à la notice qu'il a publiée

sur la rotation de Vénus, on voit, au-dessous de la corne australe, dans le voisinage du cercle terminateur, une tache sombre qui, tout d'abord simple, n'a pas tardé à se dédoubler à mesure que diminuait la distance de la planète à la Terre. « Pendant plus d'un mois et demi, dit M. Perrotin, cette région s'est présentée avec à peu près les mêmes caractères ; on a seulement remarqué un sensible mouvement de ces taches vers la corne australe, provenant en partie de la variation en latitude de la planète, et aussi peut-être de l'augmentation de la distance angulaire des taches par rapport au terminateur, combinée ou non avec un mouvement de libration en latitude. »

Voici du reste comment M. Perrotin formule les conclusions qu'il tire des faits observés par lui :

« 1° La rotation de Vénus est très lente et se fait de telle sorte que la position relative des taches et du terminateur n'éprouve pas de changement notable pendant un grand nombre de jours.

« 2° La durée de la rotation de la planète

ne diffère pas de la durée de la révolution sidérale, soit 225 jours environ, de plus de 30 jours.

« Pourtant nos observations s'accommoderaient plus volontiers d'une rotation plus rapide, dont la durée serait comprise entre 195 et 225 jours.

« 3° L'axe de rotation de la planète est à peu près perpendiculaire au plan de l'orbite. L'écart ne dépasse pas 15° comme l'admet M. Schiaparelli. »

Il paraît donc, jusqu'à plus ample informé, que Vénus tourne autour de son axe avec une extrême lenteur : peut-être même devra-t-elle, sous ce rapport, être assimilée à la Lune, dont la durée de rotation est précisément égale à la période de sa révolution. Comme il en est de même, selon Schiaparelli, de Mercure, nous allons d'abord dire ce qu'on sait de la rotation de la planète la plus voisine du Soleil, avant de faire les réflexions que suggère cette double découverte, si inattendue.

§ 3. — Rotation de Mercure.

Nous reproduisons ici, à peu près textuellement, la notice que nous avons publiée en octobre 1890 dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées*, que dirige avec une si haute compétence un de nos savants microbiologistes, M. L. Olivier.

Mercure est une planète qui ne jouit pas d'une bonne réputation auprès des astronomes. Sa théorie laisse à désirer, et ce qu'on sait de sa constitution physique se réduit à bien peu de chose. Comme elle n'a pas de satellites, on a été longtemps réduit à une hypothèse pour évaluer sa masse. Des géomètres, comme Lagrange et Laplace, supposèrent que les densités des planètes suivent une certaine loi, qu'elles sont réciproquement proportionnelles à leurs moyennes distances au Soleil, et, du volume de Mercure et de sa densité ainsi calculée, ils conclurent pour sa masse le nombre 1/2.025.810. Laplace ajoutait judicieusement que c'était là « une hypothèse fort précaire ». Encke, d'après les perturbations que Mercure avait

fait subir à la comète à courte période (celle qui porte son nom) calcula directement sa masse et trouva un nombre inférieur à la moitié de celui de Laplace: 1/4.865.750. Tout récemment M. Backlund, reprenant les mêmes problèmes avec des données tirées de la même comète, est arrivé à 1/2.668.700. Le Verrier, dans sa théorie des planètes moyennes, Mercure, Vénus, la Terre et Mars, donna d'abord un nombre peu différent de celui d'Encke, pour s'arrêter à celui-ci : 1/5.310.000, adopté aujourd'hui par le Bureau des longitudes. Enfin, en soumettant les résultats antérieurs à une discussion nouvelle, un astronome anglais, le professeur Harkness, vient de trouver pour la masse de Mercure 1/8.504.569. On peut voir, par ces nombres, dans quelles larges limites se meut l'évaluation de cet élément si important pour la théorie de la planète.

L'incertitude n'est pas moindre pour les données qui peuvent éclairer les astronomes sur la constitution physique de Mercure.

Il n'y a pas encore un siècle qu'on ne savait rien de son mouvement de rotation.

L'existence et la détermination d'un tel mouvement exigent qu'on puisse observer télescopiquement des accidents plus ou moins permanents de la surface du disque, par exemple des taches brillantes ou des taches obscures. Or Mercure est d'une observation difficile ; il s'éloigne peu du Soleil, et, surtout dans nos latitudes, il s'élève à une faible hauteur au-dessus de l'horizon, même lorsqu'il atteint son maximum d'élongation occidentale ou orientale. Sa lumière, très vive, scintille fortement ; elle est d'ailleurs plongée dans des couches brumeuses et l'agitation de l'air ne permet que bien rarement d'obtenir des images nettement définies.

C'est dans les dernières années du XVIIIe siècle (1799-1801), que Schrœter et Harding firent, à Lilienthal, les premières observations un peu suivies de Mercure, et ils purent en conclure un mouvement de rotation de $24^h 5^m$. Des indentations ou échancrures de la ligne de séparation de l'ombre et de la lumière, une troncature de la corne australe du croissant, une tache noire dans une bande nébuleuse du disque, par leurs

apparitions et disparitions successives, servirent à ces deux astronomes à établir la réalité du mouvement de rotation et à en fixer la durée. Plus tard (1813) Bessel discuta à nouveau les observations de Schrœter et de Harding, et trouva en définitive un nombre un peu plus petit, 24^h 0^m 52^s,97 de temps moyen. Ce résultat (l'*Annuaire du Bureau des longitudes* donne 24^h 50^s) était accepté par tous les astronomes, bien qu'il n'ait été confirmé par aucune observation postérieure. Il semblait d'autant plus probable, qu'il se rapprochait des durées de rotation des trois autres planètes du même groupe, Vénus 24^{h}21^m, la Terre 23^h 56^m et Mars 23^h 37^m.

Or voici qu'un astronome italien, qui a fait ses preuves comme observateur habile et consciencieux, le directeur de l'observatoire de Brera (Milan), M. Schiaparelli, vient renverser de fond en comble tout ce qu'on croyait si bien établi par les observations de Schrœter et les calculs de Bessel. D'après lui, la durée de la rotation de Mercure, au lieu d'être d'un jour moyen environ, ne serait pas moindre de 87^j 869, c'est-à-dire

égale à la révolution sidérale de la planète. Mercure présenterait sous ce rapport une particularité qui semblait réservée jusqu'ici aux satellites, à la Lune notamment et à plusieurs des satellites de Jupiter et de Saturne. Un tel résultat demande à être justifié par des observations décisives et exige qu'on entre dans quelques détails. C'est ce que nous allons faire en nous appuyant sur deux notes publiées par M. Schiaparelli, l'une dans les *Astronomische Nachrichten*, l'autre dans les bulletins de la *Reale Accademia dei Lincei* (déc. 1889).

Les études de l'observateur italien n'ont pas duré moins de sept années, depuis 1882 jusqu'en 1889. Mais c'est principalement en 1882 et 1883 qu'il put réunir la série la plus nombreuse et la plus suivie d'observations de la planète pendant sept révolutions synodiques successives. Il obtint ainsi 150 dessins du disque à différentes phases. Pour arriver à un tel résultat, malgré les interruptions forcées pendant les périodes des conjonctions inférieures et supérieures (trente-six jours en moyenne), M. Schiaparelli adopta un mode

d'observation généralement inusité avant lui. Négligeant le plus souvent les observations de pleine nuit, c'est le soir avant le coucher du Soleil, ou le matin après son lever qu'il pointait son télescope (un réfracteur de Merz de 8 pouces) sur la planète. Il évitait ainsi l'obstacle le plus ordinaire à une bonne visibilité, c'est-à-dire les agitations des couches d'air voisines de l'horizon. D'ailleurs, la présence des rayons solaires n'est pas à son avis un aussi grand obstacle qu'on le pourrait croire. « Sans prendre aucune disposition spéciale pour éliminer du télescope les rayons solaires, j'ai pu dit-il, dessiner plusieurs fois Mercure à quelques degrés du Soleil. Un de mes meilleurs dessins a été pris le 11 août 1882, à $20^h 27^m$ de temps moyen, Mercure n'étant distant du limbe solaire que de 3°2'. Le disque de la planète se montrait alors parfaitement rond, avec une lumière à peu près uniforme, et, bien que son diamètre apparent fût réduit à 4″ ou 5″, la position des taches visibles put être évaluée avec une grande certitude. »

La méthode et les procédés d'observation étant connus, voyons quels résultats obtint M. Schiaparelli et quelles conséquences il tira de leur comparaison.

Mercure observé deux jours de suite à la même heure solaire, présentait identiquement le même aspect : mêmes taches, claires ou obscures, occupant à peu près la même position sur le disque apparent. Que l'intervalle soit de deux, trois ou quatre jours solaires complets, la différence d'aspect est peu considérable, si l'on tient compte du changement de forme et de l'amplitude des phases visibles. De tous les faits relatifs à la rotation de Mercure, celui-là est le plus évident, et le plus anciennement connu. Il résulte des observations de Schrœter et aussi de celles d'un astronome contemporain, M. L. de Ball, qui vit une tache le 24 juillet 1882 et, quatre jours après, la revit à la même heure et avec le même aspect. Ce fait n'admet que trois interprétations : *a*) la planète effectue sa rotation en vingt-quatre heures environ ; *b*) ou elle fait deux ou plusieurs rotations entières dans le même intervalle ;

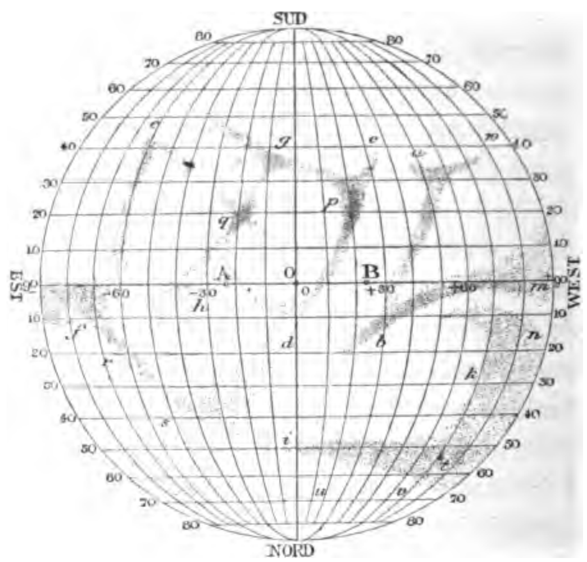
c) ou enfin le mouvement de rotation est assez lent pour n'être pas sensible d'un jour à l'autre. Laquelle de ces trois hypothèses doit être adoptée ?

Or, d'après M. Schiaparelli, un fait non moins évident que le premier, résultant pareillement d'observations réitérées, va trancher cette question. En observant le disque de Mercure plusieurs fois dans la même journée, à des intervalles de plusieurs heures, il constata encore que ce disque conservait le même aspect. Même résultat, en observant dans deux journées consécutives, de manière que l'intervalle fût sensiblement plus grand ou plus petit que vingt-quatre heures. Un tel résultat exclut manifestement les deux premières hypothèses ; il est en contradiction complète avec la durée de rotation de Schrœter, « ce que je n'oserais affirmer, dit M. Schiaparelli, si je n'avais eu maintes et maintes fois l'occasion d'en faire la preuve. La rotation de Mercure ne s'effectue pas en un jour, ni en une fraction de jour, mais elle se fait avec une grande lenteur. »

Il restait à déterminer la durée de cette rotation.

Pour y parvenir, l'astronome italien compara l'aspect présenté par le disque de Mercure et la position respective de ses taches, aux époques des diverses révolutions synodiques, correspondant à des situations identiques de la planète, de la Terre et du Soleil. Il trouva encore que l'aspect général des taches restait le même, à de faibles différences près, vers le cercle terminateur de l'ombre. « Ainsi, par exemple, dit-il, le grand système de taches *w a b k i*, qui occupe toute la partie droite du planisphère joint au présent article, page 202, avec une forme tout à fait semblable à celle du chiffre 5, est caractéristique de l'aspect du disque dans les élongations orientales maxima, lorsque Mercure se montre presque éclairé à moitié. Pendant les deux années 1882 et 1883, j'ai pu observer avec quelque continuité six élongations orientales et des observations semblables ont été faites dans deux autres élongations orientales à la fin de juin 1886 et dans les premiers jours de mars 1887 ;

toujours ces taches furent visibles, un peu plus un peu moins immergées dans l'ombre de la planète. » M. Schiaparelli, après avoir



Mercure et ses taches, d'après les observations de M. Schiaparelli (1882-1887). — A, B, points de l'équateur limitant les régions de Mercure qui voient le Soleil à leur zénith dans le cours d'une révolution.

cité d'autres faits confirmatifs des précédents, conclut en disant que leur ensemble démontre « que Mercure tourne autour du Soleil à fort peu près de la même manière que fait la Lune

autour de la Terre, et Japet autour de Saturne, présentant au Soleil (non sans certaines oscillations) constamment le même hémisphère de sa surface. » D'où la conséquence que la durée de rotation de Mercure est égale à celle de sa révolution sidérale ou en nombres ronds à 88 jours moyens (87,969). Tout en admettant qu'il puisse y avoir entre les deux périodes une différence de 0,001 de leur valeur, il incline à croire que cette différence est rigoureusement nulle.

M. Schiaparelli n'a pu déterminer la direction précise de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite. La difficulté des mesures exactes dans la position des taches ne lui a pas permis de résoudre ce point important du problème. On sait que, d'après Schrœter, l'axe ne faisait avec le plan en question qu'un angle de 20°. La réduction des positions des taches sur les dessins obtenus à Brera laisse penser que cet axe n'est pas éloigné d'être perpendiculaire à l'orbite de Mercure. Cet angle n'est certainement ni de 23° ni de 25° comme dans le cas de la Terre et de Mars ; tout au plus pourrait-il arriver

au tiers, 8° à 9°. Provisoirement M. Schiaparelli admet que l'équateur de Mercure coïncide avec le plan de l'orbite. C'est en partant de cette hypothèse qu'il a construit le planisphère où il a essayé de résumer, dans ses traits essentiels, la physionomie du disque de la planète, d'après les nombreux dessins des taches observées dans le cours des sept années qu'il a consacrées à leur étude.

Sur la ligne droite qui figure l'équateur les deux points A et B, situés de part et d'autre du centre O, dont ils sont éloignés chacun de 23°41′, marquent les deux régions extrêmes qui voient, à chaque révolution, le Soleil à leur zénith. La planète, en effet, dans ses deux mouvements simultanés de révolution et de rotation, ne présente pas toujours le même méridien au Soleil ou au foyer de l'orbite. Cela tient, d'après M. Schiaparelli, à ce que le mouvement de rotation de Mercure est uniforme, d'où résulte, étant donnée l'excentricité notable de l'orbite, une libration en longitude de part et d'autre du rayon vecteur, dont la période est de 88 jours et dont l'amplitude totale est le

double de la plus grande équation du centre, soit de 47° 21′.

Telles sont, en résumé, les principales conclusions du savant astronome italien. Nous n'avons pas besoin de dire que, sur plus d'un point, elles méritent d'être contrôlées par d'autres observateurs placés dans des conditions aussi favorables que celles de Brera. Comme il en convient lui-même, les taches du disque de Mercure sont loin d'être bien définies, et, le plus souvent, elles sont à peine perceptibles, rendant ainsi fort difficiles des mesures précises. Si, comme on doit l'espérer et comme le fait présumer la grande habileté de l'éminent astronome italien, les nouvelles observations établissent d'une façon décisive l'égalité des moyens mouvements de rotation et de révolution de Mercure, il y aura lieu d'en tirer les conséquences, à deux points de vue, l'un et l'autre fort intéressants, et que nous allons brièvement indiquer.

Il sera, tout d'abord, curieux de chercher ce que peut être la météorologie de Mercure, dans les singulières conditions où cette pla-

nète se trouve placée par la singularité de son mouvement de rotation, combinée avec sa proximité du Soleil et la forte excentricité de son orbite. M. Schiaparelli a abordé en partie cette question dans celle de ses deux notes qu'il a adressée à la *Reale Accademia dei Lincei*. Il y insiste notamment sur ce fait que la surface de Mercure est ainsi partagée en trois parties d'inégale étendue, l'une qui a toujours le Soleil sur son horizon, l'autre qui a des jours et des nuits, la troisième qui ne voit jamais les rayons solaires. Nos lecteurs développeront d'ailleurs aisément eux-mêmes les conséquences de cette singulière distribution de la lumière et de la chaleur du Soleil sur la planète, conséquences qui doivent donner à la constitution physique de Mercure une physionomie si originale.

Mais il sera peut-être plus intéressant encore d'examiner si le fait de l'égalité des mouvements de rotation et de révolution peut trouver une explication plausible dans l'hypothèse cosmogonique de Laplace. Tout ce qui touche à ce grave et difficile problème

des origines et de la formation du monde solaire a une importance philosophique et scientifique que l'on ne saurait méconnaître. On sait que l'existence des anneaux intérieurs de Saturne, la faible distance et le mouvement rapide des deux satellites de Mars ont nécessité dans la théorie ébauchée par notre grand géomètre des additions et corrections sans lesquelles elle se fût trouvée en défaut. La nouvelle rotation de Mercure constituerait-elle un cas nouveau, incompatible avec l'hypothèse primitive ou avec l'hypothèse modifiée?

On comprend avec quelle réserve nous nous permettons de poser la question et d'indiquer dans quel sens il nous semble qu'elle sera résolue.

Laplace a donné l'explication de l'égalité des mouvements de rotation et de révolution de la Lune. Notre satellite, en vertu de sa rotation, est légèrement aplati à ses pôles; mais l'attraction de la Terre sur la Lune encore fluide a allongé son axe dirigé suivant le rayon vecteur, d'où la tendance de cet axe, le plus grand des trois, à conserver

cette direction, sauf un léger mouvement de libration, l'attraction terrestre agissant ainsi sur notre satellite de la même manière que la pesanteur agit sur un pendule pour le ramener à la verticale.

Or, ne peut-on admettre que Mercure s'est trouvé vis-à-vis du Soleil dans le cas de la Lune vis-à-vis de la Terre? D'après M. Édouard Roche, ce cas a dû se réaliser pour toutes les planètes : « Sous cette action (l'attraction du Soleil sur la planète à l'état de vapeurs), dit-il, l'atmosphère planétaire s'allonge dans le sens du rayon qui joint son centre au Soleil. De cet allongement résulte une tendance de la nébuleuse à tourner constamment vers le Soleil les mêmes points de sa surface. Ainsi s'établit l'égalité entre les mouvements de rotation et de translation de la planète, égalité qui pour une raison analogue a lieu aujourd'hui chez la Lune, et qui a dû se rencontrer chez toutes les planètes dans la première phase de leur existence. »

Si l'on admet ces vues du savant et regretté professeur, deux raisons militent en faveur

de leur application à la rotation actuelle de Mercure. En premier lieu, selon l'hypothèse cosmogonique de Laplace, Mercure est, de toutes les planètes connues, la plus récemment formée. Il est donc possible qu'elle soit encore dans cette période primitive où les deux mouvements de rotation et de révolution ont conservé leur égalité. De plus, sa proximité du Soleil est telle, que l'on conçoit que l'attraction solaire prépondérante ait pu maintenir l'égalité en question même au delà de la première phase de l'existence de la planète. Ainsi se trouverait, selon nous, expliquée la rotation de Mercure telle qu'elle résulte des travaux de M. Schiaparelli. Nous hasardons cette réponse à la question posée, qui mérite évidemment une étude plus approfondie, laissant à de plus compétents et à de plus autorisés que nous la solution rigoureuse du problème.

XI

MARS

SES CANAUX ET SES MERS.

---

§ 1. — Géographie et météorologie de Mars.

Voilà sans contredit, de toutes les planètes, grosses, petites ou moyennes, celle qui nous est le mieux connue, au point de vue physique et météorologique s'entend, car les éléments de l'orbite (ou astronomiques) sont à peu près également bien calculés pour toutes. Si nous la connaissons mieux, c'est que périodiquement elle se présente à nous de la façon la plus favorable aux observations suivies. Aux époques où Mars, dans son mouvement de circulation autour du Soleil, passe à l'opposé de cet astre, non seulement il se trouve

alors à une distance relativement faible de la Terre, mais encore il reste sur nos horizons une bonne partie des nuits, à une hauteur généralement suffisante pour être dégagé des brumes des couches inférieures. De plus, il présente à l'observateur un disque pleinement éclairé par la lumière solaire, dans les meilleures conditions pour être étudié à loisir au télescope.

Les oppositions de Mars ont lieu à des intervalles d'un peu plus de 2 années (un à deux mois en plus), d'où il résulte que les époques d'observation, pour chacune d'elles, tombent successivement dans toutes nos saisons. Comme d'ailleurs l'orbite de Mars est une courbe assez excentrique, il s'ensuit que les distances de la planète à la Terre varient dans d'assez fortes proportions. Par exemple, tandis que le 5 février 1837, Mars était à une distance de 0,67, c'est-à-dire égale aux deux tiers environ de la distance moyenne de la Terre au Soleil (99 millions de kilomètres environ), le jour de l'opposition de 1845, il n'en était plus qu'à 0,38 (66 millions k.); même circonstance s'est

encore présentée le 5 septembre 1877. On voit dès lors que, pour un même grossissement télescopique, le diamètre apparent de Mars se présente à l'œil sous des dimensions très variables et qu'ainsi, de ce fait, les oppositions ne sont pas également favorables. Une condition plus importante encore que celle de la distance, c'est celle du choix d'un bon instrument et surtout du calme et de la pureté du ciel pendant les nuits d'observation.

Un premier résultat important des nombreuses observations dont Mars est l'objet depuis deux siècles et demi, c'est la détermination exacte de son mouvement de rotation. Grâce à la netteté et à la permanence des taches vues sur son disque, l'incertitude que nous venons de constater dans les durées de rotation de Vénus et de Mercure, n'existe pas pour Mars. Dès 1666, Cassini trouvait qu'il tourne autour de son axe en 24 heures 40 minutes. Depuis, on a pu obtenir un nombre plus précis et c'est à quelques secondes près qu'il se trouve fixé à 24 heures 37 minutes et 23 secondes. De même on a

pu mesurer l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite, élément d'une si haute importance pour la climatologie de Mars : cette inclinaison est un peu inférieure à 63°. La nôtre, on le sait, est un peu supérieure à 66°.

Ainsi pour la rotation, Mars diffère peu de la Terre, et n'était la durée de son année de 687 jours, et aussi la forte excentricité de l'orbite, qui rend plus sensibles les variations de la distance de Mars au Soleil, on pourrait considérer les deux planètes comme deux astres présentant de grandes analogies dans les conditions météorologiques de leurs surfaces.

Mais les saisons sur Mars nous sembleraient bien longues ; sur l'hémisphère boréal, le printemps et l'été réunis durent 372 jours moyens de Mars, plus qu'une de nos années ; l'automne et l'hiver, quoique moins longs (296 jours) dépassent encore de beaucoup les nôtres. Pour l'hémisphère austral bien entendu, l'inverse se présente. C'est aussi cet hémisphère qui, dans les oppositions, tourne son pôle vers nous, de sorte que nous

le connaissons beaucoup mieux que l'hémisphère opposé.

Encore un chiffre fourni par la mécanique céleste, celui de la masse de Mars rapportée à la masse du Soleil : 3 093 000 globes comme celui de Mars seraient nécessaires pour équilibrer la masse solaire ; ce n'est guère plus du dixième de celle de notre globe. En joignant à cette donnée le volume, calculé comme celui d'une sphère ayant pour diamètre 0,528 du diamètre équatorial de la Terre, on en déduit aisément le nombre 3,9 qui mesure la densité moyenne de Mars rapportée à l'eau. On connaît enfin l'intensité de la pesanteur à la surface de la planète, à son équateur ; elle est presque égale aux 2/5 de celle qui retient les corps à la surface de la Terre.

Tout cela est certainement plein d'intérêt ; mais cela ne donne pas la physionomie de Mars ; ce sont abstractions qui parlent à l'esprit, non aux yeux, et notre curiosité va plus loin, cherchant à connaître le caractère particulier qui distingue Mars des autres planètes, de la Terre surtout.

Ce caractère le voici : c'est l'ensemble des taches obscures et brillantes que le télescope a découvertes sur son disque, la distribution, la forme de ces accidents, les uns permanents, les autres variables, mais périodiques, d'autres enfin n'ayant qu'une durée limitée et des apparences fugitives ou passagères. L'étude approfondie des taches de Mars, poursuivie avec persévérance par plusieurs générations d'astronomes, a permis de dresser des cartes de sa surface, bien vagues d'abord et bien incertaines, ainsi qu'il arrive toujours pour des régions jadis inconnues et peu à peu explorées, puis plus parfaites à mesure que s'accumulaient les observations et que leur précision même allait en progressant. Que de tâtonnements, que d'hésitations, de rectifications avant d'en arriver là, avant de pouvoir assurer qu'il y a une géographie de Mars, une *aréographie*, comme disent les astronomes !

Les taches de Mars, on le sait, sont de deux sortes : les unes, se détachant comme des masses sombres, d'un gris bleuâtre, ont été dès l'origine assimilées à des mers ; les

autres, brillantes, d'une teinte légèrement rougeâtre, sont les continents de la planète. Outre ces deux genres de taches dont la forme, l'étendue apparentes varient selon les circonstances, on a noté depuis longtemps des régions du disque tout à fait blanches, ayant à peu de chose près pour centres les pôles de rotation de Mars; on a conclu de cet éclat et de cette situation des taches blanches qu'elles sont produites par l'acumulation de neiges ou de glaces analogues aux glaces et aux neiges qui environnent les pôles de la Terre. Et cette hypothèse acquiert un haut degré de probabilité lorsqu'on constate, comme l'ont fait les observateurs de Mars, que l'étendue des taches blanches est toujours plus grande à l'un des pôles qu'à l'autre; que cette inégalité passe alternativement de l'hémisphère boréal à l'hémisphère austral, et enfin que leur maximum d'extension correspond à la saison d'hiver de chacun d'eux. C'est ainsi que les choses se passent sur notre planète; c'est ainsi qu'elles doivent se passer sur Mars, si l'on admet qu'il est entouré d'une atmosphère, que cette atmosphère est

en partie formée d'une vapeur aqueuse susceptible de se précipiter et de se congeler par le refroidissement, recouvrant la surface de la planète de couches neigeuses réfléchissant fortement la lumière solaire. Ces couches envahissent naturellement, pendant l'hiver, des régions de moindres latitudes, de même que pendant l'été, la fusion due à l'action des rayons solaires les refoule vers le pôle.

Or l'existence d'une telle atmosphère sur Mars est doublement confirmée par l'observation directe et par la spectroscopie. Secchi et Lockyer ont vu sur le disque des taches mobiles traversant les taches permanentes; d'après Schiaparelli, les contours de celles-ci sont fréquemment altérés par l'interposition de taches plus blanches que le reste du disque; il pense que ce ne sont autre chose que des nuages dont la surface extérieure réfléchit vivement la lumière du Soleil.

D'autre part, l'analyse spectrale a fait voir, dans la lumière de Mars, des raies sombres semblables à celles qu'on observe dans les couches basses de notre propre atmosphère

et qui sont dues à une absorption par la vapeur d'eau. Secchi, Huggins, Vogel s'accordent sur ce point, et en concluent que Mars possède une atmosphère vaporeuse et aqueuse. Cela même est une confirmation indirecte de l'hypothèse qui fait des taches grisâtres les mers de la planète. L'évaporation de la surface de ces masses liquides donne lieu à des vapeurs qui se précipitent sous forme de nuages, dans les hauteurs de l'atmosphère, et tombent ensuite soit en pluie, soit en neige, selon l'abaissement plus ou moins fort de la température.

Nous assistons douc, de la Terre, aux vicissitudes atmosphériques de Mars; nous pouvons, avec de grandes probabilités, nous faire une certaine idée de sa météorologie, laquelle, dans son ensemble, paraît ressembler fort à la nôtre. Mais il ne faudrait pas pousser trop loin cette ressemblance, car sur bien des points, il est problable que Mars a une constitution qui diffère beaucoup de celle de la Terre.

Sans insister sur la longueur des saisons,

dont nous avons déjà dit un mot, sur la moindre intensité du rayonnement solaire dépendant de la plus grande distance, nous signalerons un élément qui a sur les phénomènes météorologiques une importance capitale. Je veux parler de la distribution des terres et des eaux. Cet élément joue un grand rôle sur notre Terre où les courants, tant océaniques qu'aériens, sont en grande partie sous la dépendance de cette distribution.

§ 2. — Distribution des terres et des eaux; les canaux de Mars.

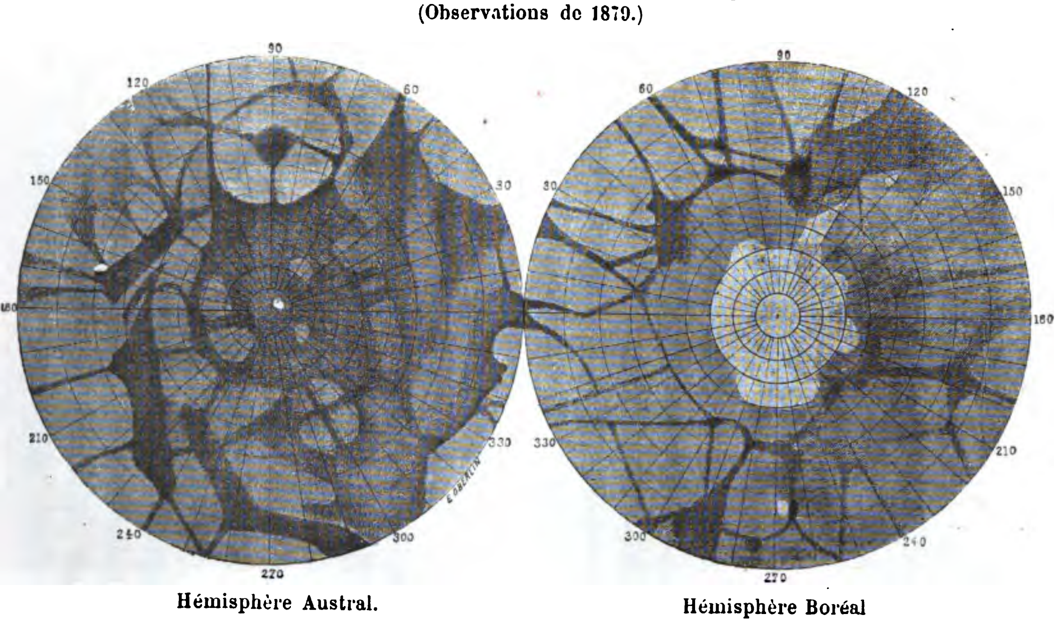
Jetez les yeux sur le disque de Mars, tel que le représente la figure qu'en donne Schiaparelli, dans ses beaux mémoires sur cette planète : vous y distinguerez aisément deux zones, l'une couverte des taches sombres constituant les mers, l'autre, claire, formée des terres, continents, îles ou presqu'îles. Or il est visible que la grande majorité des terres de Mars dessinent une zone équatoriale continue, ou du

moins qui n'est interrompue ou découpée que par des sortes de canaux ou bras de mer très étroits, les uns dirigés selon le méridien, d'autres obliques; quelques-uns ayant la direction des parallèles. Dans l'hémisphère austral, on voit encore, parallèles à la première, deux autres zones de terres, mais séparées par des mers beaucoup plus larges. Au pôle sud, une tache blanche de forme triangulaire marque la région couverte de glace, la calotte polaire dont nous avons parlé plus haut. En résumé, les terres de Mars sont accumulées en une ceinture compacte qui entoure l'équateur jusqu'à la latitude australe d'environ 30°, et du côté du nord jusqu'à plus de 40°; les limites de ce côté sont d'ailleurs plus incertaines. Mais, comme je viens de le dire, tout un réseau de canaux allant des côtes australes aux côtes boréales divise cette ceinture en autant de continents séparés, de grandes îles de forme polygonale, qui ne ressemblent en aucune façon aux parties continentales de notre Terre.

Il est probable que l'on n'a découvert

MARS.

Ses continents et ses mers, d'après G. V. Schiaparelli.
(Observations de 1879.)



Hémisphère Austral.

Hémisphère Boréal

encore que les plus larges de ces canaux qui donnent à l'aspect de Mars une si étrange physionomie. La plupart d'entre eux n'avaient jamais été observés avant l'opposition de 1877-78, où Schiaparelli, profitant de conditions atmosphériques exceptionnelles et en outre muni d'un excellent télescope, les décrivit pour la première fois. Dans les oppositions suivantes, celles de 1879 et de 1881, l'habile et savant astronome acheva de dresser, d'après ses mesures micrométriques et de nombreux dessins, le planisphère de Mars, sur lequel il est aisé d'étudier le réseau compliqué de ces singuliers accidents du sol de la planète.

Ce qui fait penser que le nombre des canaux de Mars est plus grand que ne l'indiquent les cartes actuelles, c'est une particularité d'observation assez curieuse que cite Schiaparelli dans ses mémoires. Il a observé que certains d'entre eux, qui semblent formés d'un trait sombre unique et d'une certaine largeur, se montrent en réalité, si la vision devient plus nette, formés de plusieurs canaux plus étroits,

trop déliés pour être, dans les conditions ordinaires, vus isolément. « Pendant le cours de mes observations d'octobre 1877, dit-il autre part, il m'est arrivé deux ou trois fois d'avoir des moments très courts d'une atmosphère absolument calme, ou à peu près telle. Dans ces circonstances, il semblait que tout à coup un voile épais se levait de la surface de la planète qui se montrait comme une broderie de plusieurs couleurs. Mais telle était la petitesse de ces détails et si fugitive la durée de cet état de choses, que l'on ne pouvait se former une idée bien claire de ce qu'on voyait, et qu'il restait seulement l'impression confuse d'un réseau fixe, formé de lignes déliées et de petites taches. »

Une vingtaine d'années avant cette observation, faite dans le ciel calme et pur de la Lombardie, Secchi avait remarqué qnelque chose de semblable. Il faut espérer que, dans des conditions meilleures encore, on finira par fixer ces résultats fugitifs d'une vision accidentelle, et que la géographie de Mars sera connue dans ses plus minutieux détails.

Déjà, un pas a été fait dans ce sens par la découverte, qui date de dix années à peine, du dédoublement de certains canaux de Mars, du phénomène auquel Schiaparelli a donné le nom de *gémination*. Il ne s'agit plus du phénomène que nous venons de signaler, c'est-à-dire ici de la décomposition des canaux connus en plusieurs canaux plus étroits, mais de la formation, au voisinage d'un canal, d'un second canal parallèle au premier, à une certaine distance de celui-ci.

C'est pendant l'observation de 1881-82 que Schiaparelli découvrit cette étrange formation : une trentaine de canaux l'ont présentée et voici comment à une ligne sombre unique, telle que l'avait jusque-là constatée l'observateur, se substituait un système de deux lignes à peu de chose près parallèles ou équidistantes. D'abord on voyait le canal primitif, puis au bout d'un temps variable, entre un jour et un peu plus d'un mois, apparaissait le nouveau canal. Cette apparition est ordinairement précédée de phénomènes qu'on peut qualifier de préparatoires : l'ancien canal paraît plus large;

près du point où il se joint à l'une des mers qu'il met en communication, il se forme un appendice, qui est comme l'amorce du nouveau canal.

Schiaparelli a comparé entre elles les observations de dédoublement des canaux dans trois oppositions successives, en 1882, 1884 et 1886. Il a cru pouvoir en conclure que le phénomène est soumis à une certaine périodicité : il est réglé par l'année tropique de Mars, commençant à l'équinoxe du printemps (boréal); environ deux mois après, il atteint son maximum pour disparaître au solstice d'été. Il semble donc lié à certaines circonstances météorologiques. D'autre part, comme les canaux doubles se reforment toujours aux mêmes endroits et sous le même aspect, on doit croire que leur formation est déterminée par des accidents permanents du sol de Mars. De quelle nature peuvent bien être ces accidents?

Je hasarde une hypothèse. La forme rectiligne de la plupart des canaux, leur largeur uniforme, petite en comparaison de

leur longueur, la facilité qu'ils doivent offrir pour la communication d'une mer à l'autre, devaient naturellement suggérer l'idée qu'ils sont des ouvrages artificiels, dus aux habitants de Mars, beaucoup plus avancés que nous en procédés techniques ou industriels. C'est une hypothèse qui plaît à l'imagination, partant séduisante ; mais percer par centaines des tranchées de plusieurs milliers de kilomètres, d'une largeur comprise entre 200 à 700 kilomètres, c'est une série de bien grosses entreprises qu'il nous paraît bien plus vraisemblable d'attribuer au jeu naturel des forces physiques qu'à une industrie humaine, fût-elle de beaucoup supérieure à la nôtre. Il suffit d'admettre qu'à l'époque où se sont formées les parties continentales de la planète, ou postérieurement, des fissures se sont produites en raison du retrait de la matière solide et de son refroidissement graduel, et que ces dépressions ont été alors envahies par les eaux.

A peu de distance de ces fentes du sol, d'autres accidents pareils, parallèles aux premiers, mais moins profonds, ont cons-

titué les canaux doubles. Le plafond de ces canaux est, dans les circonstances ordinaires, plus élevé que le niveau des mers australes ou boréales, et l'eau de ces mers n'y peut pénétrer. Mais lorsqu'au printemps, la fonte des neiges polaires amène l'inondation qui submerge nombre de régions de la seconde zone des terres australes de Mars, le niveau maritime s'élève assez pour dépasser celui des canaux géminés jusqu'alors à sec, et ils sont envahis par les eaux dont la teinte sombre suffit à révéler leur existence. L'évaporation pendant les 194 jours du printemps boréal, est assez forte pour les mettre à sec de nouveau et expliquer leur disparition vers l'époque du soltice d'été.

Est-ce à une explication de ce genre que faisait allusion l'éminent observateur milanais, lorsqu'il constatait que le phénomène de la gémination est à la fois variable et périodique, et néanmoins déterminé par des accidents géographiques permanents? Cela nous semble plausible, mais nous donnons notre hypothèse sous toute réserve.

Mars est de formation plus ancienne que la Terre. En se basant sur les principes de la thermodynamique, Helmholtz a calculé que la température de condensation de la matière qui a formé le globe terrestre, avait dû l'élever à environ 9000°, tandis que celle du globe de Mars atteignait 2000° à peine. Ainsi la chaleur interne primitive de cette dernière planète a été à l'origine moindre que la nôtre. Qu'on y joigne cette circonstance d'une moindre masse et d'un moindre volume, et l'on en conclura que le refroidissement de Mars a été plus rapide que celui de la Terre. Tout fait donc croire que la phase géologique où il se trouve depuis un temps très reculé, est caractérisée par le repos complet du noyau intérieur : la prédominance des forces physiques internes y a cessé depuis longtemps. C'est le tour de l'action dénivellatrice exclusive de ses mers et de son atmosphère.

S'il en est ainsi, on s'explique l'uniformité de la conformation du sol de Mars, où l'on voit de grands espaces de terre découpés par de longs et étroits canaux. La forme recti-

ligne de ceux-ci suppose qu'ils traversent de grandes plaines dépourvues d'accidents saillants; si Mars a eu jadis des chaînes de montagnes un peu élevées, des régions accidentées comme sont les régions montagneuses de notre Terre, l'action érosive des eaux de pluies, des marées, des glaciers s'il y en a eu à l'origine, a fini par niveler le sol, en comblant peu à peu les dépressions des détritus enlevés sur les sommets. Bien plus, à certaines latitudes, les terres subsistantes émergent à peine au-dessus du niveau des mers qui les baignent; de là ces inondations périodiques que Schiaparelli a constatées, en observant que des espaces auparavant brillants prenaient une teinte grisâtre intermédiaire entre celle des parties continentales et la teinte plus foncée des mers.

XII

LA VIE DANS LES ASTRES.

---

§ 1. — Impossibilité de la vie organique dans le Soleil et les Étoiles.

La Terre est-elle le seul corps céleste qui ait des habitants? Ou, d'une façon plus générale, est-elle le seul astre à la surface duquel se manifeste la vie, sous sa double forme de végétaux et d'animaux? C'est une question qu'on devait se poser inévitablement, dès qu'on fut arrivé à la conviction que la Terre est un corps céleste, voyageant périodiquement dans l'espace éthéré, tout comme Mars, Jupiter, Saturne par exemple.

Quant à répondre autrement qne par des hypothèses, il n'y fallait pas songer; aussi

l'imagination, qui joue toujours le principal rôle dans la solution des questions, sinon insolubles, du moins bien obscures, s'en est-elle donné, comme on dit, à cœur joie. Littérateurs, poètes, philosophes, métaphysiciens, humoristes, chacun devait dire son mot et n'y a pas manqué. On écrirait des volumes, rien qu'à relater les opinions émises sur l'habitabilité des astres, et un tel ouvrage ne manquerait pas d'intérêt, bien que la plupart de ces opinions ne soient que fantaisie pure.

Au risque d'ajouter un chapitre de plus à cette histoire, je me propose d'examiner ici, au point de vue unique des connaissances astronomiques actuelles, ce que la science peut apporter d'arguments plausibles pour ou contre l'existence de la vie dans les astres autres que notre planète.

Je commence par une élimination nécessaire. Il n'y a pas plus d'un demi-siècle, des astronomes d'un grand mérite, sir J. Herschel, François Arago, par exemple, croyaient encore que le Soleil peut être habité. Ils partaient de la théorie de Wilson sur la cons-

titution physique du Soleil; de l'hypothèse de trois atmosphères superposées, à travers lesquelles se voyaient la surface du globe solide relativement obscur ; les taches et leurs pénombres s'expliquaient par les trouées que des éruptions volcaniques faisaient dans ces enveloppes. La photosphère seule était lumineuse, soit par incandescence, soit par quelque action électro-magnétique ; une atmosphère de nuées grisâtres sous-jacentes jouait le rôle de modérateur et d'écran qui tempérait le rayonnement interne. Les habitants supposés du Soleil vivaient à l'abri sous cette double enveloppe, dans une troisième atmosphère respirable.

Personne aujourd'hui n'accepte plus ce roman. La mesure de l'intensité des radiations solaires, l'impossibilité d'expliquer sa constance pendant des milliers d'années avec une telle dépense d'énergie, oblige à considérer la masse tout entière de l'astre comme douée d'une température qui ne peut être moindre de plusieurs milliers de degrés centigrades. Quel que soit l'état physique de cette masse en partie solide, liquide ou

gazeuse, une telle température est incompatible avec l'existence d'êtres organisés quelconques. Il est en effet démontré que les organismes les plus résistants sont complètement détruits, lorsqu'ils sont dans un milieu dont la température s'élève seulement à cent soixante degrés. Imaginer des êtres vivants susceptibles de résister à la température solaire, c'est donc se placer dans le pur domaine de la fantaisie.

Le Soleil n'est donc ni habitable ni habité.

On voit tout de suite de quelle importance est cette conclusion pour le reste de l'univers. En effet toute la population sidérale que nous observons à la vue simple ou dans les télescopes, est formée d'astres plus ou moins semblables au Soleil, rayonnant comme lui, par voie d'incandescence, incapables dès lors de renfermer des êtres vivants, des organismes quelconques. Leurs effluves, calorifiques ou lumineux, sont indispensables à la vie, l'entretiennent et la donnent peut-être dans des conditions que la biologie terrestre a constatées; mais le foyer d'où ils émanent est par lui-même destructeur de la vie.

Tels sont les enseignements de la science sur ce point.

§ 2. — La vie à la surface des planètes et de leurs satellites. — La Lune.

Il ne reste plus qu'à examiner la question pour les astres secondaires, qui, comme les planètes de notre système, ne sont pas lumineux par eux-mêmes, au moins dans toute une période de leur existence.

Nous avons pour terme de comparaison notre planète, où la vie, ainsi qu'on l'a vu plus haut, ne remonte pas au delà de cent millions d'années.

Les recherches paléontologiques ont prouvé que la vie, sur la Terre, n'a pas été toujours ce que nous la voyons maintenant. D'abord rudimentaire, aux premiers temps géologiques, aussi bien pour le règne végétal que pour le règne animal, elle s'est progressivement développée avec le temps. Les formes se sont multipliées; les organismes, de plus en plus complexes, se sont perfectionnés et, par une lente évolution, ont fini

par atteindre le développement qu'on leur voit aujourd'hui. Quelles que soient les causes de cette succession de formes animales et végétales, il paraît évident qu'elle est liée aux changements physiques des milieux, aux modifications qu'ont subies le sol, les eaux, l'atmosphère. On pourrait donc en conclure que là où les conditions physiques dont nous parlons se trouvent réunies, là aussi il y a probabilité pour que la vie s'y présente sous des formes, sinon identiques, du moins fort analogues. L'homme, étant apparu des derniers, aux époques géologiques dites quaternaires et peut-être tertiaires, on pourrait supposer que, dans les autres planètes, un être semblable existe ou existera aux mêmes phases de développement de ces astres.

Pour se faire une idée juste de la probabilité de l'existence de la vie sur les planètes de notre système, les seules que nous puissions observer, nous n'avons donc pas d'autre critérium que celui-ci : s'assurer, par l'observation ou par les inductions de la théorie, que les conditions nécessaires à la

vie sont, ont été, ou seront réalisées à leur surface ; constater, s'il est possible, la phase évolutive où chaque planète est sans doute parvenue.

Essayons de préciser cela par des exemples.

Deux astres sont assez voisins de nous et se présentent, vus au télescope, dans des conditions assez favorables pour qu'on ait cru pouvoir y saisir des témoignages probants de l'existence d'êtres vivants à leur surface. Ce sont la Lune et Mars.

Notre satellite surtout a longtemps excité à cet égard la curiosité des observateurs. Dès que, pour l'observer, on fit usage d'instruments tant soit peu bons, un grossissement même très modéré permit de distinguer une foule de détails très nets des accidents de son disque. Ses taches, sombres ou brillantes, qu'on prit d'abord pour des mers et des terres, convenablement éclairées par la lumière du Soleil, se montrent parsemées d'une multitude de cavités en forme de coupes ou de cratères, que jamais aucune nuée ne vient masquer ou ternir. En certaines régions, une étude plus approfondie fit reconnaître

l'existence de longs sillons étroits. On crut y voir des canaux creusés par les habitants. L'imagination aidant, on aperçut des traces de fortifications, des villes, etc. Mais ces fantaisies ont été bientôt réduites à leur juste valeur par des observations plus attentives et une discussion plus approfondie. Les meilleures lunettes ne permettent de voir distinctement à la surface de la Lune que des objets dont les dimensions surpasseraient de beaucoup les édifices terrestres les plus volumineux. Quant aux prétendus canaux, aux rainures rectilignes, qu'on voit en effet traverser le sol lunaire, tantôt dans les parties planes, tantôt dans les régions montagneuses, dont quelques-unes franchissent même les pentes volcaniques, ce sont des accidents naturels, non des travaux effectués par des habitants de notre satellite. Leur largeur qui atteint 1 ou 2 kilomètres, leur profondeur de plusieurs centaines de mètres eussent exigé des efforts qui paraissent dépasser toute mesure.

En résumé, rien sur la Lune ne semble indiquer l'existence d'êtres animés, si l'on

se borne à consulter les investigations directes. Jusqu'ici du moins, le télescope est resté impuissant à révéler rien de pareil.

Ce résultat négatif est corroboré par des inductions décisives. En effet, il est prouvé que la Lune n'a pas d'atmosphère; si elle en a une, elle est si peu dense que sa rareté ne peut être comparée qu'à celle du milieu restant sous le récipient des meilleures machines pneumatiques où l'on a fait le vide. Voudrait-on imaginer des organismes susceptibles de vivre dans un milieu aussi rare? Dans ce cas, il faudrait encore qu'ils pussent se passer d'eau ou de tout liquide analogue.

Car l'eau manque également à la surface de la Lune. On a bien donné le nom de *mers* à de grands espaces de teinte grisâtre; recouvrant une notable partie de son disque. Mais on sait depuis longtemps que ces taches sont formées de vastes plaines, pauvres en accidents cratériformes, dues sans doute à d'anciens épanchements boueux... Si elles étaient recouvertes d'un liquide quelconque, l'ardeur du rayonnement solaire qui, à chaque lunaison, frappe sans discontinuer le sol

lunaire pendant 350 heures, jointe à une pression nulle ou presque nulle, réduirait ce liquide en vapeurs, en nuages qui masqueraient pour nous les accidents du sol. Or la surface lunaire est remarquable par une netteté absolue, d'où la conséquence qu'il n'existe pas d'eau sur la Lune.

Il faudrait donc admettre que des êtres organisés peuvent naître, vivre, se développer en l'absence de tout milieu gazeux, de tout liquide. Aucun fait ne nous autorise à regarder une telle hypothèse comme ayant le moindre degré de probabilité. Tout ce que nous savons de la vie, au contraire, légitime une conclusion toute opposée. On peut donc affirmer que, dans l'état actuel des choses, la vie n'existe pas à la surface de la Lune.

A-t-elle existé autrefois? Cela revient à demander si notre satellite a eu jadis l'atmosphère et l'eau dont il est aujourd'hui dépourvu. Cela n'est pas impossible. Quand la Lune s'est formée aux dépens de la portion de nébulosité dont la condensation a donné naissance à notre planète, elle a dû passer par des phases analogues à celles qui ont



Fragment du SOL DE LA LUNE (région boréale).
D'après une photographie de MM. Henry, astronomes de l'Observatoire de Paris.

14

présidé à la formation des planètes comme de leurs satellites, et par conséquent être caractérisée, à l'une de ces phases, par un noyau entouré lui-même de vapeurs. Ces vapeurs constituaient alors l'atmosphère de la Lune. Pourquoi ont-elles plus tard complètement disparu? Se sont-elles entièrement précipitées, puis combinées avec les matières en fusion du noyau; ont-elles subi l'attraction prépondérante de la masse de la Terre; laquelle aurait ainsi sans vergogne dépouillé son propre satellite? C'est ce qu'on ne saurait dire. Toujours est-il que si la Lune a été, dans une période antérieure de son existence, pourvue d'une atmosphère, il est permis de supposer qu'elle a été alors peuplée d'organismes en rapport avec sa constitution physico-chimique. En tout cas, c'est une simple hypothèse, invérifiable.

On a bien supposé encore que les habitants supposés de la Lune, les *Sélénites* ou *Séléniens*, comme on les appelle, s'ils n'existent point sur l'hémisphère vu de la Terre, occupent précisément l'hémisphère opposé; il nous paraît inutile de discuter une idée

qui n'a pas même une apparence de vraisemblance.

§ 3. — La vie sur les planètes. — Mars.

Après la Lune, le corps céleste le mieux placé en vue d'observations directes, est la planète Mars. Ce n'est pas seulement en raison de la faible distance relative où elle se trouve de la Terre à l'époque de ses oppositions, c'est aussi, comme on l'a vu plus haut, parce qu'alors elle présente à l'observateur sa face éclairée dans les meilleures conditions possibles et pendant un temps assez long pour rendre fructueuse une étude détaillée de son disque.

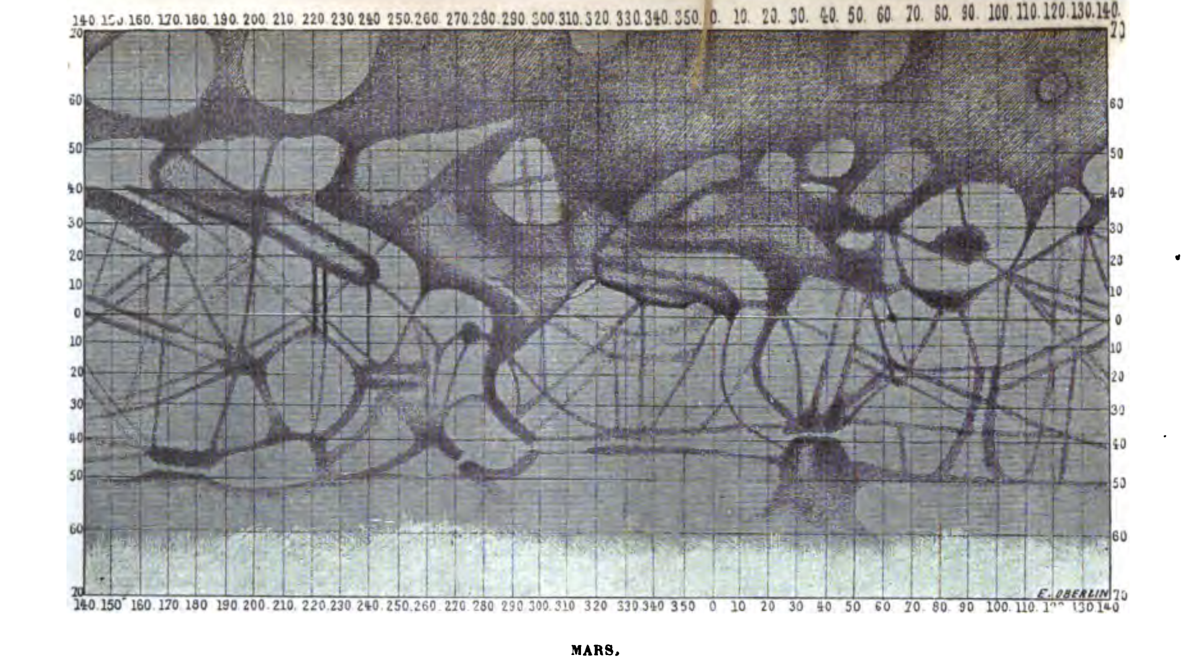
Seulement il ne faut pas s'attendre à voir à la surface de Mars des accidents du sol, comme ceux que montre la Lune. Cette dernière n'est pas à une distance de la Terre qui dépasse sensiblement trente diamètres terrestres (entre 28 et 32 environ), de sorte qu'elle n'est jamais plus loin de nous de cent mille lieues. Un grossissement de 1200 fois la rapproche donc environ à 80 lieues. En

outre, sa surface est toujours parfaitement nette, quand l'air est lui-même limpide. Au contraire, Mars, à l'époque de ses oppositions les plus favorables, est encore éloigné de la Terre de 55 millions de kilomètres, près de 14 millions de lieues. C'est cent quarante fois la plus grande distance de notre Lune. Et comme l'observation a prouvé que le disque de la planète est fréquemment recouvert, au moins en partie, de taches vaporeuses, on ne peut raisonnablement espérer qu'il offrira jamais aucun détail de structure comparable à ceux que la Lune nous présente. Ainsi l'investigation directe peut être regardée comme incapable de rien fournir comme témoignage de l'existence de ses habitants.

Restent les inductions qu'on peut tirer des données que l'astronomie a recueillies sur la constitution physique de Mars. De ce côté au contraire, tout semble favorable à l'hypothèse que cette planète est probablement peuplée comme celle que nous habitons, d'êtres vivants. Les taches sombres permanentes qu'on découvre à la surface de son

disque sont des mers; tout le fait croire. Les pôles de Mars sont recouverts, on le sait, de taches blanches, brillantes, qui varient de grandeur suivant les saisons, offrant leurs dimensions les plus grandes juste aux époques où le pôle recouvert est au milieu de son hiver. On en conclut que Mars a des neiges et des glaces comme la Terre. Des taches mobiles indiquent aussi très vraisemblablement la présence de nuages, et les résultats de l'analyse spectroscopique montrent en effet que l'atmosphère de Mars est riche en vapeur d'eau.

Voilà des analogies frappantes entre Mars et la Terre. On peut donc supposer qu'elles ne s'arrêtent pas là, et que la vie s'y manifeste aussi sous ses deux formes principales : des végétaux et des animaux. Des esprits plus hardis ajoutent, et l'on ne voit guère pourquoi ils n'auraient pas raison, des hommes ou du moins des animaux doués d'intelligence et de moralité, à un degré égal et même supérieur à celui dont notre race humaine est douée. Dans cet ordre d'idées, l'hypothèse a beau jeu, et l'imagination



MARS.

Ses continents et ses mers, d'après le planisphère dressé par G. V. Schiaparelli.
(Observations faites en 1881-82.)

aussi. Des observations récentes, faites dans des conditions exceptionnellement favorables, avec des instruments excellents et sous un ciel serein et calme, ont permis de distinguer, à la surface de Mars, des détails qui jusqu'ici avaient échappé aux yeux. L'éminent directeur de l'observatoire de Brera, près de Milan, a vu et dessiné ce qu'il a nommé *les canaux de Mars*, minces filets d'eau reliant les mers ou séparant les parties continentales. Ces réseaux ont été vus et dessinés ailleurs, à Nice par exemple, par notre savant compatriote M. Perrotin. Chose curieuse, à certaines époques, ces canaux ont paru doubles. Dans le chapitre qui précède, nous avons décrit ces phénomènes avec quelque détail. Or, la forme rectiligne de ces singuliers accidents du sol de Mars, le parallélisme des canaux géminés ont suggéré à quelques-uns l'idée que c'étaient peut-être là des travaux des habitants. Beaucoup plus anciens que nous, puisque Mars a précédé la Terre dans la genèse des planètes, probablement beaucoup plus avancés en civilisation, en possession de procédés industriels supé-

rieurs, les Martiens auraient créé sur leur planète un réseau de communications maritimes, sous forme de canaux reliant les plages opposées de leurs mers.

L'idée est ingénieuse, comme on voit. A-t-elle pour elle des probabilités suffisantes? C'est une autre question, que chacun résoudra selon la tendance de son esprit. Je vais me borner à citer quelques nombres propres à éclairer ceux qui voudront en juger.

En se reportant aux cartes de la surface de Mars dressées et publiées par Schiaparelli, il est aisé de se rendre compte des dimensions des canaux en question. La plupart s'étendent sur plusieurs degrés en latitude : plusieurs atteignent et dépassent 40 de ces degrés. Quant à leur largeur, elle est en moyenne de plusieurs degrés ; il en est de beaucoup plus larges (10 à 12 degrés), et fort peu sont plus étroits.

Traduisons ces chiffres en mesures métriques. Sur la planète Mars, un degré du méridien vaut environ 60 kilomètres. Un canal de 40 degrés mesure donc 2400 kilomètres de longueur, 180 à 240 kilomètres en

largeur selon que celle-ci est de 3 ou 4 degrés. Les plus larges ont de 6 à 700 kilomètres. Si ce sont des travaux humains, on conviendra qu'ils laissent bien loin derrière eux Suez et Panama !

Mars, avons-nous dit, est plus ancien que la Terre. Sans prétendre connaître de combien son humanité supposée est plus avancée en civilisation que la nôtre, on peut se demander, comme l'a fait l'astronome milanais, à quelle phase géologique elle se trouve. Les mouvements qu'il a observés dans les parties maritimes de la planète, lui font croire que les phénomènes dus aux forces intérieures ont cessé de s'exercer et ont cédé la place à l'action des eaux. C'est ce qui arrivera peu à peu pour la Terre. L'écorce solidifiée augmentant d'épaisseur par le refroidissement, les éruptions volcaniques, les soulèvements deviendront de plus en plus rares ; les reliefs continentaux incessamment entamés par les érosions des marées, ravinés par les eaux pluviales, les torrents, les rivières, s'affaisseront à la longue, et l'océan reprendra son empire, envahissant les régions les plus basses

et nivelant peu à peu toute la surface aujourd'hui émergée. C'est ce qui semble arrivé maintenant pour Mars.

Si ces phénomènes se sont produits ainsi, il est clair qu'il a dû en résulter de graves conséquences pour l'existence des êtres organisés, végétaux et animaux. Mais ce sont là des questions bien difficiles à résoudre, et nous ne devons pas oublier que des savants autorisés ont émis des vues tout à fait opposées, et pensent que, plus une planète vieillit, plus la masse des eaux, par ses combinaisons avec les solides de l'écorce, diminue. La planète se dessèche, disent-ils, pour se désagréger à la fin, et se réduire en fragments, origine des météorites.

Ce qu'il faut retenir ici, c'est que. si de puissantes analogies nous portent à considérer Mars comme peuplé d'êtres vivants, nous ne savons rien de plus, rien qui puisse nous faire préjuger de la nature des organismes qui se développent à sa surface. Mars a, comme la Terre, des terres et des mers, une atmosphère chargée de vapeurs ; sa rotation a la même durée à 40 minutes près

que la rotation de la Terre, et l'inclinaison de son axe sur le plan de son orbite est très voisine de celle qui caractérise notre planète. Mais, il est à une autre phase géologique que la Terre ; son année, ses saisons sont doubles des nôtres en durée, sa densité moyenne est les sept dixièmes de la densité de notre globe, et l'intensité de la pesanteur à la surface les deux cinquièmes du même élément terrestre. Toutes ces différences influent probablement sur la constitution des organismes qui vivent à la surface de Mars ; il est donc vraisemblable que les flores et les faunes y ont une physionomie bien différente de celle qui appartient aux nôtres.

On voit que nous savons peu de chose sur cette question de l'existence de la vie dans les astres qui composent le monde solaire. Ou pour mieux dire, notre science est, sur ce sujet, soit négative, soit conjecturale. Elle est négative pour l'astre principal, foyer et régulateur des autres, négative pour la Lune. Pour Mars, ce que nous pouvons dire, c'est que l'analogie milite en faveur de l'habitabilité. C'est également par analogie que

nous supposerons l'existence de la vie dans les autres planètes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune d'une part, Vénus et Mercure de l'autre. Seulement les premières de ces planètes sont si éloignées de la Terre et les deux autres si peu favorablement placées pour l'observation, qu'on ne sait presque rien sur la configuration de leurs surfaces.

Toutefois le disque de Jupiter, avec ses bandes parallèles à l'équateur, bandes variables, mobiles, indique une atmosphère chargée de vapeurs nuageuses, que la rapidité de la rotation dispose en rangées parallèles à la direction du mouvement. Analysée au spectroscope, sa lumière, outre les raies de la lumière solaire, offre des raies d'absorption analogues à celles de la vapeur d'eau, et en outre une bande qui paraît signaler la présence de quelque vapeur n'existant pas dans l'atmosphère terrestre.

Si les bandes brillantes de Jupiter sont des nuages, les parties obscures qui les séparent sont des éclaircies laissant voir le corps même de la planète. Mais aucune tache ne révèle la configuration du sol. Comme la

densité moyenne du globe comparée à celle de l'eau n'est guère plus grande que d'un tiers, il est bien probable que la surface est en grande partie liquide. Qui sait? Les habitants de Jupiter appartiennent peut-être tous à la faune marine.

On sait moins encore sur Saturne, et sur les conditions physiques qui peuvent favoriser ou non la vie à sa surface. D'Uranus et de Neptune, on ne connaît rien que certains éléments tels que la densité, la pesanteur à la surface. On en est donc réduit aux pures conjectures, et si l'on parle de leurs habitants, c'est simplement parce qu'on suppose qu'en leur qualité de planètes, elles doivent être semblables en quelque point à la planète qui nous sert de demeure. Il y a gros à parier que, dans cette hypothèse même, la ressemblance est bien faible, la constitution physique de la Terre étant, sous bien des rapports, singulièrement différente de celles des grosses planètes.

Pour ne relever qu'une seule différence, mais qui a une importance très grande dans les phénomènes de la vie, faisons observer

que la durée de l'année est considérable sur les quatre grosses planètes. Elle vaut 12 fois la nôtre sur Jupiter, 29 fois sur Saturne, 84 fois sur Uranus, 165 fois sur Neptune. La succession des saisons s'y accomplit donc avec une lenteur croissante, qui contraste précisément avec la rapidité de succession des jours et des nuits. Enfin, à mesure que la durée de l'année augmente, il en est de même de la distance, et par conséquent l'intensité des radiations solaires, ces facteurs de la vie organique, va en diminuant progressivement. Sur Neptune, elle n'est plus qu'une faible fraction de la même intensité à la surface de la Terre, à peine la 900e partie. Jupiter est mieux partagé : néanmoins la lumière et la chaleur solaires y sont déjà 25 fois moins intenses qu'à la surface de notre globe. Il faut faire remarquer que ces nombres se rapportent aux radiations reçues aux limites extérieures des atmosphères; mais on ne peut rien dire de ce qu'elles deviennent après leur absorption par les couches atmosphériques.

Si, du groupe des grosses planètes, nous passons aux deux planètes moyennes plus

rapprochées du Soleil que la Terre, l'observation directe ne nous instruit pas davantage sur les conditions favorables ou défavorables à la vie où peuvent se trouver leurs surfaces. C'est à grand'peine que les astronomes ont pu constater l'existence de quelques taches permanentes assez précises pour déterminer les durées de rotation de Mercure et de Vénus. Jusqu'à ces dernières années, on admettait pour ces durées des nombres sensiblement égaux à la durée de la rotation de la Terre. Or, nous avons vu que les récents travaux de Schiaparelli sur cette question indiquent une rotation beaucoup plus lente pour chacun de ces corps : Mercure tournerait sur son axe en 88 jours, c'est-à-dire dans le même temps qu'il met à effectuer sa révolution autour du Soleil. Ce serait un cas singulier analogue à celui de la Lune et de quelques autres satellites qui, dans le cours de leurs révolutions autour de la planète principale, tournent toujours vers celle-ci la même face.

Vénus serait dans le même cas, de sorte que sa rotation s'effectuerait en 225 jours.

Si ces résultats, qui ont besoin d'être confirmés, sont bien conformes à la réalité, il est aisé de comprendre en quoi ils modifient l'idée qu'on pouvait se faire de la constitution physique des deux planètes. Avec les durées de rotation admises jusqu'à ces derniers temps, de 24 heures pour Mercure, de 23 heures 21 minutes pour Vénus, les phénomènes des jours et des nuits, dans le cours de l'année de chaque planète, se déroulaient à peu près les mêmes que sur la Terre, aux chiffres près. Les saisons ne différaient que par leur plus grande brièveté, et les contrastes des climats se trouvaient seulement plus accentués par le fait de la plus forte inclinaison des axes et de l'intensité notablement plus grande des radiations solaires.

Dans l'hypothèse de l'égalité entre les durées de rotation et de révolution, il en irait tout autrement. Tandis que l'hémisphère tourné vers le Soleil aurait un jour perpétuel, l'hémisphère opposé serait constamment dans la nuit. Sans parler des mouvements de libration qui atténueraient un peu ces conséquences pour les régions limitrophes des

deux hémisphères, on voit combien se trouveraient modifiées les conditions climatériques des régions de Vénus et de Mercure soumises ainsi aux rigueurs extrêmes de la chaleur et du froid. La vie, dans ces conditions, y serait-elle possible? Cela nous paraît tout au moins douteux. D'un autre côté, il faut se rappeler que, selon les hypothèses cosmogoniques admises, Vénus et Mercure sont toutes deux de formation plus récente que la Terre. Dès lors, il est naturel de penser que leurs globes en sont encore à des phases de développement géologique plus rapprochées de l'état de fusion; si Vénus, par exemple, se trouve aujourd'hui à l'époque secondaire, Mercure sort peut-être à peine de celle qui a vu se former les premiers dépôts. Dès lors, les premières ébauches de la vie organique sont sans doute tout ce que ces planètes pourraient offrir à qui aurait la faculté d'en explorer la surface.

Pour achever de passer en revue tous les corps du monde solaire, il faudrait parler des petites planètes, si l'observation avait pu fournir quelques données, ce qui n'est pas. Enfin il y aurait lieu de mentionner les co-

mètes qui passaient encore, au siècle dernier, pour des astres susceptibles de porter des habitants. Aujourd'hui, il n'est pas un astronome qui émettrait le moindre doute sur ce point. Tout ce qu'on sait de la constitution physique des comètes, de leur faible masse, de leur extrême rareté, des phénomènes de transformation incessante qu'ont présenté leurs noyaux et enfin de l'identité très probable de la matière dont elles sont formées avec les essaims de corpuscules météoriques, s'oppose à la pensée que ces corps puissent être peuplés d'êtres vivants.

En résumé, la science n'est en état de fournir, sur cette intéressante question de l'existence de la vie organisée dans les astres, que des renseignements très vagues. Tout se réduit à énumérer celles des conditions favorables qui paraissent réalisées dans quelques planètes, dans Mars par exemple. Toutes les conclusions qu'on peut tirer de l'examen des faits, c'est l'analogie qui les dicte et les formule. C'est l'analogie qui nous porte à regarder les étoiles comme des foyers envoyant leurs radiations à des corps secondaires sem-

blables aux planètes de notre système, et c'est elle encore qui nous suggère la pensée que, sur tant de millions, de milliards d'astres pareils, la Terre n'est pas la seule planète portant la vie à la surface. Il me semble bien évident qu'une telle probabilité équivaut à la certitude.

Et alors, on ne peut s'empêcher de faire la remarque que voici : si la vie est répandue à profusion dans l'Univers, au sein de ces agglomérations stellaires innombrables qui brillent dans le ciel de nos nuits, elle est précisément absente dans les étoiles, c'est-à-dire dans les astres qui, par leurs radiations, la rendent possible, et elle réside au contraire dans les astres invisibles, dans cette population d'astres obscurs dont les mouvements sont réglés par les premiers.

Si le problème de l'existence actuelle de la vie dans les astres est encore enveloppé de tant d'obscurité, que dire de cet autre, qui s'impose comme le premier, aux méditations du philosophe, et aux recherches de l'homme de science : *de l'origine de la vie dans les astres ?* Là tout est mystère.

A l'origine, chaque système stellaire s'est présenté, nous l'avons vu plus haut, sous la forme d'une nébulosité indistincte, au sein de laquelle ont pris naissance des noyaux où la matière nébuleuse condensée a fini par donner naissance à des étoiles. Pendant toute la durée de cet état embryonnaire, on ne conçoit pas qu'aucun germe, aucune cellule, aucun être ayant vie, ait pu subsister. Ce n'est qu'après de longues périodes où la matière primitive a subi des transformations physico-chimiques profondes, où elle s'est progressivement refroidie par son rayonnement extérieur, que les organismes les plus rudimentaires ont pu faire leur apparition.

Comment cette apparition s'est-elle produite? A cette question, nul encore n'a pu répondre; la science est muette et sans doute le sera longtemps encore. En faisant intervenir la volonté divine, ne l'oublions pas, on fait un acte de foi, que les uns peuvent admettre, que les autres peuvent rejeter, mais auquel la science reste nécessairement étrangère. D'autres ont parlé de génération spon-

tanée, mais la solution n'est pas plus scientifique que la précédente, puisqu'il faudrait, par voie d'expérience, prouver la possibilité d'un pareil mode de génération, et indiquer les conditions précises de sa production. Or jusqu'ici toute vie a eu pour génératrice un germe préexistant, et la génération spontanée reste une pure hypothèse sans base expérimentale.

La question reste donc entière. Un moment est arrivé, dans l'évolution de notre nébuleuse, où les corps nés des condensations successives de la matière, cessant d'être incandescents, ont vu la température de leur surface s'abaisser assez pour que les premières cellules organiques pussent s'y développer et vivre. Mais dans quelles conditions se sont formées ces cellules? Et si elles étaient étrangères au milieu, comment y ont-elles pénétré et d'où venaient-elles? Tant que la science ne saura pas répondre à ces questions que nous nous posons invinciblement, le secret de la vie restera pour elle un mystère. Jusque-là, elle doit se contenter d'inscrire sur le livre de la Nature, où elle a déjà réussi à dé-

chiffrer tant d'énigmes, ces paroles inscrites sur le frontispice du temple de Saïs : *Je suis ce qui est, ce qui a été, ce qui sera, et nul mortel n'a encore levé le voile qui me couvre.*

FIN

TABLE DES MATIÈRES

2082-92. — Corbeil. Imprimerie Crété.


QB500 .G958
Autres mondes,
Wolbach Library
AR
3 2044 027 940 4


32044027940477